



TUGAS AKHIR – OM 091336

**STUDI KELAYAKAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
GELOMBANG (PLTGL) DI PULAU BAWEAN GRESIK**

ASTRID KARINA W

4309 100 042

Dosen Pembimbing

Prof. Ir. Mukhtasor, M.Eng, Ph.D

Ir. Arief Suroso, M.Sc

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2014



FINAL PROJECT – OM 091336

**FEASIBILITY STUDY OF WAVE POWER PLANT (PLTGL)
IN BAWEAN ISLAND GRESIK**

ASTRID KARINA W

4309 100 042

Supervisors

Prof. Ir. Mukhtasor, M.Eng, Ph.D

Ir. Arief Suroso, M.Sc

**DEPARTEMENT OF OCEAN ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE of TECHNOLOGY
SURABAYA**

2014

STUDI KELAYAKAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GELOMBANG (PLTGL) DI PULAU BAWEAN GRESIK

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

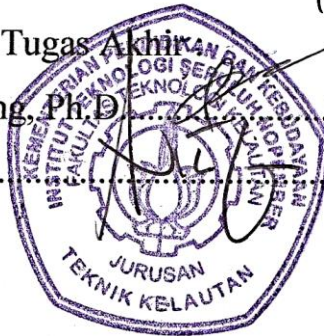
ASTRID KARINA W

NRP. 4309 100 042

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

1. Prof. Ir. Mukhtasor, M.Eng., Ph.D.....(Pembimbing 1)

2. Ir. Arief Suroso, M.Sc.....(Pembimbing 2)



SURABAYA , FEBRUARI 2014

STUDI KELAYAKAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GELOMBANG (PLTGL) DI PULAU BAWEAN GRESIK

Nama Mahasiswa : Astrid Karina W
NRP : 4309 100 042
Jurusan : Teknik Kelautan FTK-ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. Mukhtasor, M.Eng., Ph.D.
Ir. Arief Suroso, M.Sc.

ABSTRAK

Energi gelombang laut merupakan salah satu sumber energi pembangkit listrik terbarukan yang ramah lingkungan dan bebas ditemukan di perairan Indonesia. Indonesia memiliki potensi besar dalam pemanfaatan energi gelombang terutama di daerah yang sedang mengalami krisis listrik seperti Pulau Bawean Gresik. Pada tugas akhir ini menggunakan OWC (*Ocean Water Column*) sebagai alat konverter energi gelombang menjadi energi listrik, dengan melakukan perbandingan diameter OWC (D1) 7m, 8m, dan 9m . Setelah melakukan perhitungan daya bersih OWC dilakukan perbandingan ekonomi instalasinya dari masing – masing variasi D1. Dari perhitungan ekonomi D1 = 9 m memiliki prosentase IRR yang tinggi dibanding kedua variasi dan dengan harga produksi yang lebih murah sebesar Rp 1182,20. Pada perencanaan sistem transmisi menggunakan sistem JTM (Jaringan Tegangan Menengah) 20 kV. Dari analisis kelayakan, OWC ini dikatakan layak ditempatkan di Pulau Bawean dari segi ekonomis yang menguntungkan dan segi teknis pemenuhan kebutuhan listrik.

Kata kunci : Daya, gelombang, harga, listrik, OWC.

FEASIBILITY STUDY OF WAVE POWER PLANT (PLTGL) IN BAWEAN ISLAND GRESIK

Name : Astrid Karina W
NRP : 4309 100 042
Department : Ocean Engineering FTK-ITS
Supervisor : Prof. Ir. Mukhtasor, M.Eng., Ph.D.
Ir. Arief Suroso, M.Sc.

ABSTRACT

Ocean wave energy is one source of renewable energy power plants are environmentally friendly and free found in Indonesian sea. Indonesia has a great potential in the utilization of wave energy, especially in areas that are experiencing a power crisis as Bawean Island Gresik. In this thesis using OWC (Ocean Water Column) as a wave energy converter into electrical energy, by performing comparisons OWC diameter (D1) 7m, 8m and 9m. Pada perencanaan sistem transmisi menggunakan sistem JTM (Jaringan Tegangan Menengah) 20 kV. Dari analisis kelayakan, OWC ini dikatakan layak ditempatkan di Pulau Bawean dari segi ekonomis yang menguntungkan dan segi teknis pemenuhan kebutuhan listrik. From feasibility analysis, it is feasible OWC Bawean Island is placed in a favorable economic terms and in terms of meeting the needs of electrical engineering.

Keywords : Power, wave, prices, electricity, OWC.

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah puji syukur penulis penatkan kehadiran Allah SWT atas segala limpahan rahmat, hidayah-Nya dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “ **Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang (PLTGL) di Pulau Bawean Gresik** ” dengan baik dan lancar.

Tugas Akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan jenjang studi Strata 1 (S1) di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna sehingga penulis sangat mengharapkan saran, masukan dan kritik yang bersifat membangun kearah yang lebih baik.

Harapan penulis agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi para pembaca maupun penulis sebagai bahan untuk studi selanjutnya di masa yang akan datang.

Surabaya, Februari 2014

Penulis,

UCAPAN TERIMAKASIH

Alhamdulillah, segala puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Dalam pengerjaan tugas akhir ini penulis banyak sekali mendapatkan dukungan, masukan, dan nasehat dari berbagai pihak. Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Mukhtasor dan Bapak Arief Suroso selaku dosen pembimbing yang telah membimbing dan memberikan motivasi, arahan dalam pengerjaan dan penyelesaian Tugas Akhir ini.
2. Kedua orangtua penulis, Hely Widodo dan Endang Megawati. Terimakasih atas segala dukungan, motivasi, doa, dan kesabaran kepada penulis.
3. Keluarga Thamrin yang banyak sekali membantu penulis dan atas segala fasilitas yang diberikan kepada penulis.
4. Para staf administrasi Jurusan Teknik Kelautan yang telah membantu dalam administrasi berupa surat pengajuan untuk keperluan data.
5. Bapak Eko Prasetyo dan Bapak Soepeno selaku staff BMKG Perak II Surabaya yang telah membimbing selama kerja praktik dan memberikan petunjuk tentang pengambilan data angin.
6. Bapak Ahmad Antono selaku manajer PT. PLN (Persero) Rayon Bawean yang telah banyak memberikan informasi tentang kondisi kelistrikan di Bawean.
7. Mbak Mei sebagai teman dekat maupun partner yang selalu menemani selama kerja praktik, kunjungan survei di Pulau Bawean maupun selama penyusunan Tugas Akhir.
8. Kepada Mas Kemal yang telah memberikan banyak masukan, membantu saya ketika mengalami kesulitan, dan memberikan semangat dan doa.
9. Kepada Mbak Happy, Mbak Asti dan Mbak Dian untuk motivasinya.
10. Kepada teman – teman Leviathann terimakasih atas perjuangan bersama selama ini di Teknik Kelautan .
11. Serta berbagai pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR	v
UCAPAN TERIMA KASIH	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR NOTASI	xiv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Batasan Masalah	4
1.6 sistematika penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	
2.1 Tinjauan Pustaka	7
2.2 Dasar Teori	8
2.2.1 Potensi Konversi Energi Gelombang Laut	8
2.2.2 Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTG) di Indonesia	9
2.2.3Pembangkitan Gelombang Akibat Angin	11
2.2.4 Perhitungan Daya OWC	14

2.2.5 Jaringan Transmisi Energi Listrik	15
2.2.6 Kawat Penghantar.....	18
2.2.7 Analisa Perhitungan Jaringan Transmisi	19
2.2.7.1 Perhitungan Daya Listrik	19
2.2.7.2 Perhitungan rugi tembaga	19
2.2.7.3 Efisiensi trafo	21
2.2.8 Analisa Perhitungan Biaya.....	21
2.2.9 Informasi Lokasi Pulau Bawean Gresik	22

BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram Alur Metodologi	25
3.2 Prosedur Metodologi	27

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Kependudukan Pulau Bawean	31
4.2 Data Kelistrikan Pulau Bawean	35
4.3 Analisa Kebutuhan Listrik di Pulau Bawean	40
4.4 Perhitungan Daya PLTGL tipe OWC	42
4.4.1 Analisa Batimetri	42
4.4.2 Analisa Pasang Surut	43
4.4.3 Perhitungan Pembangkitan Gelombang oleh Angin	45
4.4.3.1 Perhitungan Panjang Fetch Efektif	46
4.4.3.2 Perhitungan Tinggi dan Periode Gelombang	48
4.5 Daya Hasil Perbandingan Diameter Kolom	49
4.6 Analisa Biaya	52
4.7 Perencanaan Jaringan Transmisi	58
4.7.1 Perhitungan Trafo	58
4.8 Peta Jaringan Transmisi.....	61

4.9 Analisa Teknis	63
4.9.1 Lokasi.....	63
4.9.2 Kelistrikan	64

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	69
5.2 Saran	70

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat – Sifat Logam Penghantar Jaringan	18
Tabel 2.2. Ukuran Penampang Kabel Tembaga dan Pengaman	20
Tabel 2.3 Status teknologi energi laut yang dapat diperbarui.....	21
Tabel 4.1. Jumlah Penduduk Menurut Jenis Kelamin dan Desa / Kelurahan Kecamatan Sangkapura Tahun 2011	32
Tabel 4.2. Jumlah Penduduk Menurut Jenis Kelamin dan Desa / Kelurahan Kecamatan Tambak Tahun 2011	33
Tabel 4.3 Data Pelanggan Rayon Bawean	36
Tabel 4.4 Daftar Mesin Pemasok Listrik Pulau Bawean	37
Tabel 4.5. Data Usulan Perencanaan Pengaliran Listrik di Pulau Bawean Kecamatan Tambak 2012	41
Tabel 4.6. Data – Data OWC yang telah diinstal	43
Tabel 4.7 Tetapan Pasang Surut Perairan Bawean.....	43
Tabel 4.8 Tipe Pasang Surut	44
Tabel 4.9. Perhitungan Fetch	47
Tabel 4.10. Perhitungan Konversi Gelombang	48
Tabel 4.11. Hs dan Ts utara Pulau Bawean Periode 2008 – 2012	49
Tabel 4.12. Daya OWC dengan Variasi Diameter Kolom (D1)	50
Tabel 4.13. Daya Bersih Rata – Rata OWC	51
Tabel 4.14. Perencanaan Biaya Instalasi OWC Diameter 7m di Pulau Bawean..	53
Tabel 4.15. Perencanaan Biaya Instalasi OWC Diameter 8m di Pulau Bawean..	54
Tabel 4.16. Perencanaan Biaya Instalasi OWC Diameter 9m di Pulau Bawean..	55
Tabel 4.17 Rincian Rencana Biaya Pemasangan Pile	56

Tabel 4.18. Rincian Rencana Pemasangan Kabel Bawah Laut.....	56
Tabel 4.19 Perhitungan Sistem Transmisi	61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Perkembangan konsumsi listrik di Indonesia	1
Gambar 1.2. Peta Pulau Bawean Gresik	2
Gambar 2.1. PLTG Sistem Bandul Tipe Ponton Segidelapan	10
Gambar 2.2. (a) Prototype OWC 2004 (b) OWC Limpet 2006	11
Gambar 2.3. Pergerakan Air Laut	11
Gambar 2.4. Koefisien Koreksi Terhadap Pencatatan Kecepatan di Darat ...	13
Gambar 2.5. Skema OWC Bottom Entrance	15
Gambar 2.6. Tiga Komponen Utama Dalam Penyaluran Tenaga Listrik	17
Gambar 3.1. Diagram alur	26
Gambar 4.1. Peta Pulau Bawean, Gresik	31
Gambar 4.2. Aktivitas Penduduk Bawean di Pagi Hari	34
Gambar 4.3. Suasana di Pusat Sangkapura	34
Gambar 4.4. Tangki Penyimpanan Solar PLTD Bawean	35
Gambar 4.5. Mesin PLTD Bawean	36
Gambar 4.6. Mesin PLTD Bawean yang Masih Beroperasi	38
Gambar 4.7. Peta single line 20 kV PLTD Sangkapura	38
Gambar 4.8. Trafo PLTD Bawean	39
Gambar 4.9. PLTD penyulang Sangkapura	39
Gambar 4.10. Penulis Melakukan Kunjungan ke PLN Rayon Bawean	40
Gambar 4.11. Batimetri Perairan Utara Bawean	42
Gambar 4.12. Grafik Pasang Surut Perairan Bawean	45
Gambar 4.13. Wind rose bulan Januari Periode 2008 – 2012	46
Gambar 4.14. Daya OWC dengan Variasi Diameter Kolom (D1)	51

Gambar 4.15 Grafik perbandingan ekonomi variasi D1 OWC.....	57
Gambar 4.16. Perencanaan jalur transmisi 20kV.....	61
Gambar 4.17. Perencanaan Lokasi Penempatan PLTGL	62
Gambar 4.18. Peta Perencanaan Transmisi 20KV	63
Gambar 4.19. Akses Jalan Lingkar Bawean dan Lokasi Penempatan GI	64
Gambar 4.20. Grafik Asumsi Konsumsi Listrik 24 Jam dengan Daya Pembangkit pada Bulan Januari 2012.....	65
Gambar 4.21. Grafik Asumsi Konsumsi Listrik 24 Jam dengan Daya Pembangkit pada Bulan Mei 2012.....	66
Gambar 4.22 Perbandingan Daya yang dikeluarkan dengan Asumsi Konsumsi Listrik Tahun 2012.....	66

DAFTAR NOTASI

U_w	= Kecepatan angin diatas permukaan laut (m/s)
U_l	= Kecepatan angin diatas daratan (knots)
R_L	= Hubungan U_l dan U_w (kecepatan angin di darat dan laut)
U	= kecepatan angin (m/s)
U_A	= faktor tegangan angin (<i>wind stress factor</i>) (m/s)
H_o	= tinggi gelombang (m)
T_o	= periode gelombang (detik)
F_{eff}	= panjang rerata efektif (m)
H_{rms}	= <i>Hroot mean square</i> (m)
H_s	= Tinggi gelombang signifikan (m)
T_s	= Periode signifikan (detik)
n	= Prosentase kejadian angin
H_o	= Tinggi gelombang (meter)
T_o	= Periode gelombang (detik)
E	= Kepadatan energi gelombang rata – rata satuan luas horizontal (J/m^2)
ρ	= Massa jenis air laut (kg/m^3)
g	= Percepatan gravitasi (m/s^2)
H	= Tinggi gelombang (m)
λ	= Panjang gelombang (m)
P_u	= Daya pada OWC (Watt)
P_2	= Tekanan udara pada Orifice (Pa)
v_1	= Kecepatan aliran udara pada kolom OWC (m/sec)
A_1	= Area kolom OWC (m^2)
λ	= Panjang gelombang (m)
g	= gaya gravitasi (m/s^2)
v_1	= Kecepatan aliran udara sekitar kolom OWC (m/sec)

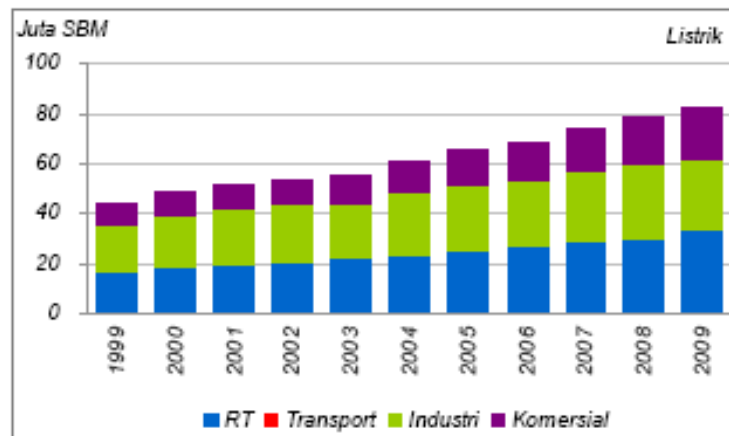
v_2	= Kecepatan aliran udara pada orifice (m/sec)
ω_c	= Kecepatan sudut (rad/sec)
Q1	= Debit air pada kolom OWC (m ³ /sec)
Q2	= Debit air pada orifice (m ³ /sec)
ϕ_1	= Potensial kecepatan pada kolom OWC (rad.m/sec)
ϕ_2	= Potensial kecepatan pada orifice OWC (rad.m/sec)
P	= daya listrik (watt)
V	= tegangan (volt)
I	= arus listrik (ampere)
R	= resistensi / tahanan listrik (Ω)
ρ_{ij}	= nilai tahanan jenis penghantar ($\Omega \frac{mm^2}{m}$)
A	= luas penampang (mm ²)
Po	= Daya listrik yang keluar dari trafo (Watt)
Pi	= Daya listrik yang masuk pada trafo(Watt)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

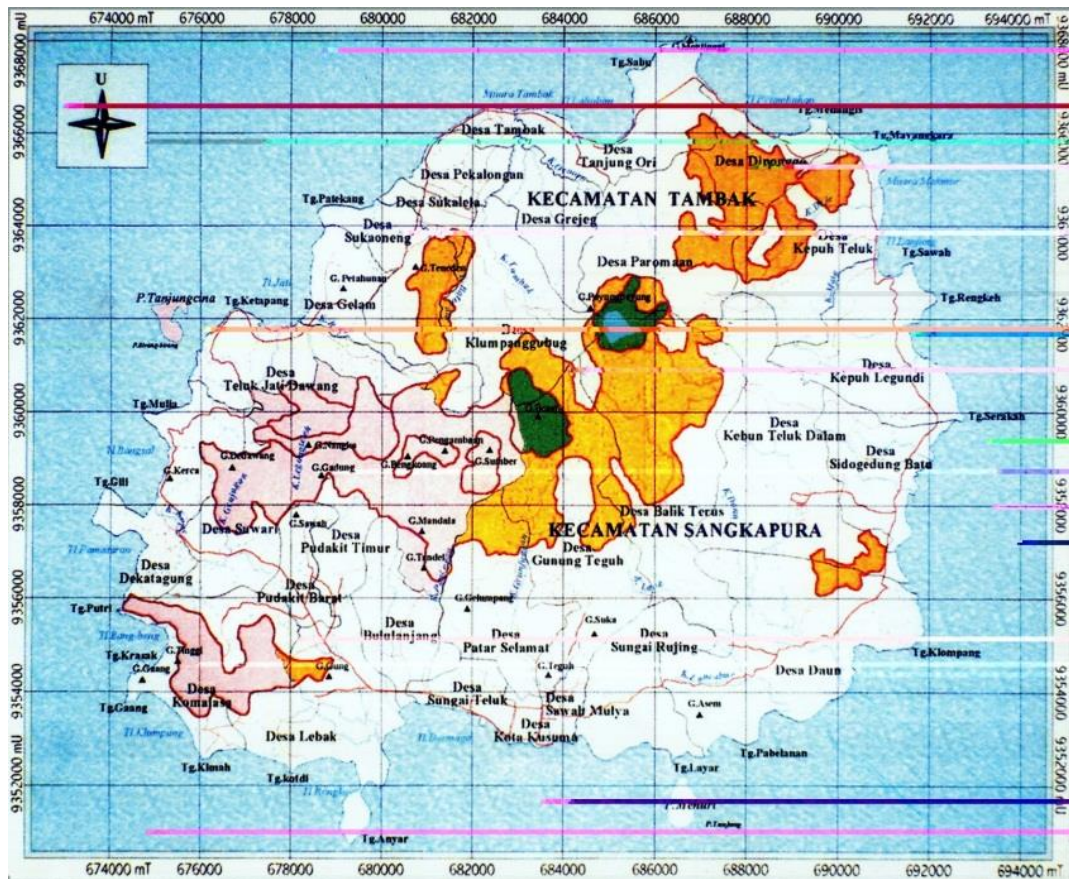
Semakin meningkatnya jumlah penduduk, pembangunan dan teknologi, konsumsi energi listrik semakin meningkat baik dari sektor rumah tangga maupun dari sektor industri. Adanya peningkatan konsumsi energi listrik ini tidak diimbangi dengan pasokan energi yang memadai. Selama ini pasokan energi yang dihasilkan berasal dari sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui, seperti batu bara, minyak bumi dan gas. Untuk itu dibutuhkan pembangkit listrik alternatif yang terbarukan untuk mengatasi masalah ini. Selain itu dibutuhkan juga sumber energi alternatif yang ramah lingkungan.



Gambar 1.1 Perkembangan konsumsi listrik di Indonesia (Pusdatin, 2010)

Energi gelombang laut merupakan salah satu sumber energi pembangkit listrik terbarukan yang ramah lingkungan dan bebas ditemukan di perairan Indonesia. Secara umum energi gelombang laut adalah energi yang dihasilkan dari pergerakan gelombang laut menuju daratan atau sebaliknya. Meskipun pemanfaatan energi gelombang laut masih memerlukan penelitian lebih lanjut, tetapi secara sederhana dapat dilihat bahwa probabilitas menemukan dan memanfaatkan energi gelombang cukup besar.

BPPT yang memiliki kompetensi di bidang teknologi pantai, telah mengembangkan rancang bangun dan *prototype* pembangkit listrik tenaga gelombang laut dengan tipe OWC (*Oscillating Water Column*) di Pantai Baron – Yogyakarta. *Prototype* OWC yang dikembangkan oleh BPPT memiliki efisiensi sistem sebesar 11,917 %. Perkembangan teknologi energi selanjutnya di Indonesia pada tahun 2002, yakni PLTGL-SB (pembangkit listrik tenaga gelombang - sistem bandulan) . Seorang staf PLN (persero) Zamrisyaf, menemukan suatu ide untuk memanfaatkan energi gelombang laut dengan menciptakan suatu alat konversi energi gelombang laut menjadi energi listrik. Alat konversi energi gelombang yang diciptakan oleh Zamrisyaf telah mendapatkan penyempurnaan melalui kerja sama dengan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (Ebo 2011).



Gambar 1.2 Peta Pulau Bawean Gresik (Wikipedia)

Pulau Bawean merupakan salah satu wilayah Kabupaten Gresik yang memiliki potensi alam yang menjanjikan. Namun potensi tersebut tidak didukung dengan

fasilitas listrik yang baik. Krisis kelistrikan di Pulau Bawean masih menjadi persoalan hingga saat ini. Walaupun daerah pesisir Pulau Bawean sudah teraliri listrik 24 jam, namun untuk beberapa wilayah masih belum bisa menikmati aliran listrik. Penggunaan PLTD (pembangkit listrik tenaga diesel) sebagai pembangkit listrik di Pulau Bawean dirasa kurang efisien jika dilihat dari segi ekonomisnya. Untuk itu dibutuhkan suatu solusi tentang permasalahan tersebut dengan menggunakan pemanfaatan sumber daya alam yang kontinyu sebagai pembangkit listrik. Salah satu energi yang dapat dimanfaatkan dan banyak ditemukan secara bebas di Pulau Bawean adalah energi gelombang laut. Maka melalui tugas akhir ini akan dibahas tentang studi kelayakan PLTGL tipe OWC yang dilihat dari segi teknis transmisi listrik dan ekonomisnya.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan-permasalahan yang akan dihadapi dalam Tugas Akhir ini adalah :

1. Berapakah perbandingan diameter kolom (D_1) pada OWC yang sesuai untuk mendapatkan daya yang dibutuhkan di Bawean?
2. Bagaimana jaringan transmisi kelistrikan dari PLTGL menuju ke gardu?
3. Apakah pembangunan PLTGL tipe OWC layak di tempatkan di Pulau Bawean?

1.3 Tujuan

Dari perumusan masalah diatas, dapat diambil tujuan yang ingin dicapai dalam tugas akhir ini adalah :

1. Mengetahui berapa diameter kolom (D_1) pada OWC yang sesuai untuk mendapatkan daya yang dibutuhkan di Bawean?
2. Mengetahui bagaimana jaringan transmisi kelistrikan dari PLTGL hingga sampai ke gardu.
3. Mengetahui apakah pembangunan PLTGL tipe OWC layak atau tidak di tempatkan di Pulau Bawean.

1.4 Manfaat

Manfaat Tugas Akhir ini adalah untuk memberikan suatu informasi tentang *renewable energy* yang berasal dari energi gelombang laut dan juga sebagai

referensi untuk pembangunan PLTGL tipe OWC selanjutnya . Selain itu juga sebagai solusi dari permasalahan listrik di Pulau Bawean yang hingga saat ini belum terpecahkan.

1.5.Batasan Masalah

Agar permasalahan yang dibahas pada Tugas Akhir ini tidak meluas, maka diberikan batasan - batasan masalah sebagai berikut :

1. Daerah penelitian hanya meliputi daerah Pulau Bawean.
2. Untuk penentuan lokasi PLTGL didapatkan dari penelitian sebelumnya, yakni di utara Pulau Bawean yang terletak di desa Diponggo.
3. Konversi energi yang digunakan tipe OWC *fixed*.
4. Hanya mencari daya yang dihasilkan oleh OWC dengan melakukan perbandingan variasi diameter kolom(D_1) 7m , 8m dan 9m.
5. Penelitian ini mengasumsikan perkiraan tinggi gelombang dengan metode yang simplistik, dimana efek batimetri sebelum gelombang pecah tidak dimasukkan dalam perhitungan.
6. Perhitungan daya dilakukan dengan sederhana berdasarkan tinggi gelombang signifikan bulanan.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika Penulisan Tugas Akhir meliputi :

Bab I Pendahuluan

Meliputi latar belakang disusunnya tugas akhir, perumusan masalah, tujuan, batasan masalah, manfaat, serta sistematika penulisan.

Bab II Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori

Terdiri dari beberapa paparan penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yang mendukung serta teori yang melandasi.

Bab III Metodologi Penelitian

Berisi tentang alur pengerjaan tugas akhir ini dengan tujuan untuk memecahkan masalah yang diangkat dalam bentuk diagram alur atau *flow chart* yang disusun secara sistematis yang dilengkapi pula dengan data data penelitian serta penjelasan detail untuk setiap langkah pengerjaannya.

Bab IV Analisa dan Pembahasan

Merupakan penjelasan pokok mengenai pemecahan masalah. Dalam hal ini adalah mengenai analisa batimetri, analisa pasang surut, analisa kebutuhan listrik pengolahan data angin ke gelombang, perencanaan transmisi hingga perhitungan biaya untuk untuk menentukan kelayakan pembangunan PLTGL di Pulau Bawean.

Bab V Penutup

Berisi kesimpulan yang menjawab tujuan dan saran mengenai penelitian selanjutnya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Sumber energi terbarukan adalah sumber energi ramah lingkungan yang tidak mencemari lingkungan dan tidak memberikan kontribusi terhadap perubahan iklim dan pemanasan global seperti pada sumber-sumber tradisional lain. *Ocean energy* adalah salah satu energi terbarukan. Prinsip sederhana dari pemanfaatan *ocean energy* itu adalah memakai energi kinetik untuk memutar turbin yang selanjutnya menggerakkan generator untuk menghasilkan listrik. Salah satu *ocean energy* yang berpotensi di wilayah Indonesia adalah energi gelombang laut. Gelombang laut merupakan salah satu bentuk energi yang bisa dimanfaatkan dengan mengetahui tinggi gelombang (H), panjang gelombang (λ), dan periode gelombang (T) (Masuda 1971).

Menurut Iglesias (2010), Ide mengubah energi gelombang laut menjadi bentuk energi listrik yang bermanfaat bagi kehidupan manusia bukan menjadi hal yang baru. Penelitian intensif dan studi pengembangan terhadap konversi energi gelombang laut pertama kali dimulai setelah terjadi peningkatan harga minyak yang drastis pada tahun 1973. Namun hingga saat ini belum ada suatu penelitian yang besar untuk memaksimalkan potensi energi gelombang laut secara umum dengan menekan biaya operasional sehingga dapat bernilai ekonomis bagi masyarakat.

Sejarah awal pengembang konversi energi gelombang laut adalah Yoshi Masuda dengan menggunakan tipe OWC. Selanjutnya pada tahun 1976, Masuda mempromosikan konversi energi gelombang laut yang berkapasitas besar bernama Kaimei dengan dimensi ukuran 80 m x 12 m yang digunakan sebagai alat uji terapung beberapa OWC yang dilengkapi dengan berbagai jenis turbin udara (Falcao, 2010). Pengembangan selanjutnya pada tahun 1986, Masuda

mengusulkan *floating wave energy* dengan osilasi kolom air yang dinamakan *Backward Bent Duct Buoy* (BBDB) (Toyota et al. 2009).

Pada tahun 2002 penemuan alat konversi energi gelombang di Indonesia yang dinamakan PLTGL-SB (Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang – Sistem Bandulan) oleh Zamrisyaf. Alat penemuan tersebut diletakkan di atas ponton. Ponton tersebut merupakan hasil desain antara pihak PT. PLN dan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (Arief dan Zamrisyaf 2010).

2.2 Dasar Teori

Dasar teori ini berisi tentang dasar-dasar teori yang sesuai dengan topik yang di bahas, sehingga digunakan sebagai dasar dalam menyelesaikan permasalahan yang diangkat dalam penelitian tugas akhir ini.

2.2.1 Potensi Konversi Energi Gelombang Laut

Suatu penelitian untuk mempelajari kemungkinan pemanfaatan energi yang tersimpan dalam gelombang laut sudah mulai banyak dilakukan. Salah satu negara yang sudah meneliti hal ini adalah Inggris. Berdasarkan hasil pengamatan yang ada, deretan gelombang yang terdapat di sekitar pantai Selendia Baru dengan tinggi rata – rata 1 meter dan periode 9 detik mempunyai daya sebesar 4,3 kW per meter panjang gelombang. Sedangkan deretan gelombang serupa dengan tinggi 2 meter dan 3 meter daya sebesar 39 kW per meter panjang gelombang.

Menurut Puspita (2010) , diperkirakan tingkat potensi saat ini dapat mengkonversi per meter panjang pantai menjadi daya listrik sebesar 20-35 kW (panjang pantai Indonesia sekitar 80.000 km, yang terdiri dari sekitar 17.000 pulau, dan sekitar 9.000 pulau-pulau kecil yang tidak terjangkau arus listrik nasional, dan penduduknya hidup dari hasil laut). Dengan perkiraan potensi semacam itu, seluruh pantai di Indonesia dapat menghasilkan lebih dari 2 hingga 3 Terra Watt ekuivalensi listrik, bahkan tidak lebih dari 1% panjang pantai Indonesia (800 km) dapat memasok minimal 16 GW atau sama dengan pasokan seluruh listrik di Indonesia tahun ini

2.2.2 Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) di Indonesia.

2.2.2.1 Sistem Bandulan (PLTGL-SB)

Pembangkit listrik tenaga gelombang yang pertama kali dibuat di Indonesia adalah PLTGL sistem bandulan. Peneliti dari Pusat Penelitian dan Pengembangan PT Perusahaan Listrik Negara, Zamrisyaf pada tahun 2002 telah mengembangkan PLTGL sistem bandul. Pengembangan PLTGL sistem bandul ini diyakini mampu mengatasi permasalahan kelistrikan di Indonesia dengan melakukan peletakan alat yang sesuai. Rancang bangun pada sistem bandul yakni berbentuk ponton, sampan yang rendah dan lebar, yang ditempatkan mengapung di atas permukaan air laut.

Menurut perhitungan Zamrisyaf, untuk areal lautan dengan luas kurang lebih 1 km persegi, energi gelombang laut dapat menghasilkan daya listrik sekitar 20 MW, dengan instalasi kurang lebih Rp 20.000.000/kW dan dapat menerangi kurang lebih 40.000 rumah tangga sederhana.

Uji coba dengan *prototype* sederhana dilakukan oleh Zamrisyaf. *Prototype* dilakukan dengan menggunakan enam drum yang dijadikan ponton, dengan komponen lain yakni bandulan, *farewell* sepeda dan belum dipasang dinamo. Namun hasil percobaan tersebut tidak memuaskan. Hingga akhirnya pada percobaan ke-empat *prototype* dengan perbaikannya dapat menyalakan lampu.

Pada Gambar 2.1 merupakan salah satu PLTGL-SB yang memiliki spesifikasi ponton berbentuk segi delapan dengan ukuran tinggi 2,5 m dan lebar 3 m. Tipe ponton segidelapan ini mampu menghasilkan energi listrik sebesar 1kW sampai dengan 5kW pada masing – masing alatnya tergantung dari tinggi gelombang yang mengenai ponton tersebut. Selain itu sarat tinggi gelombang yang dapat menjalankan dinamo dan generator yakni 0,5m.



Gambar 2.1. PLTG Sistem Bandul Tipe Ponton Segidelapan

2.2.2.2 Sistem OWC (*Oscillating Water Column*)

Pada tahun 2004 Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang (PLTGL) dikembangkan di daerah Yogyakarta oleh BPPT khususnya BPDP (Balai Pengkajian Dinamika Pantai). Pantai selatan di daerah Yogyakarta memiliki potensi gelombang 19kw/panjang gelombang. PLTGL yang pernah dibangun menggunakan sistem OWC .BPDP – BPPT telah berhasil membangun *prototype* OWC pertama di Indonesia. *Prototype* itu dibangun di pantai Parang Racuk, Baron, Gunung Kidul. *Prototype* yang dibangun adalah OWC dengan dinding tegak dengan *chamber* 3m x 3m. Tinggi struktur dari pangkal dinding miring mencapai 4 meter, sedangkan untuk tinggi dinding miring mencapai 2 meter . Setelah dilakukan uji coba operasional *prototype* ini memiliki efisiensi 11%.

Perkembangan selanjutnya pada tahun 2006 pihak BPDP – BPPT kembali membangun OWC dengan sistem Limpet di pantai Parang Racuk, Baron, Gunung Kidul. OWC Limpet dibangun berdampingan dengan OWC 2004 tetapi dengan model yang berbeda.



(a)

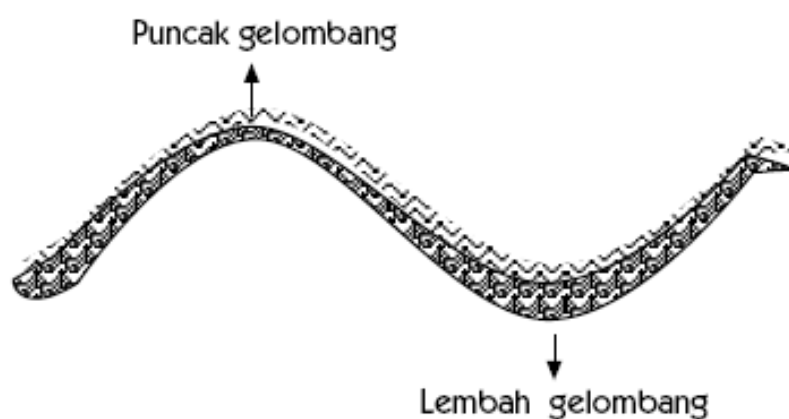


(b)

Gambar 2.2. (a) *Prototype OWC 2004* (b) *OWC Limpet 2006*

2.2.3Pembangkitan Gelombang Akibat Angin

Gelombang laut merupakan energi dalam transisi, energi yang terbawa oleh sifat aslinya. Prinsip dasar terjadinya gelombang laut adalah jika ada dua massa benda yang berbeda kerapatannya bergesekan satu sama lain, maka pada bidang gerakannya akan terbentuk gelombang (Waldopo 2008). Gelombang merupakan gerakan naik turunnya air laut. Hal ini seperti ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.3.Pergerakan Air Laut (Waldopo 2008)

Gelombang permukaan merupakan gambaran yang sederhana untuk menunjukkan bentuk dari suatu energi lautan. Menurut Waldopo (2008), gejala energi gelombang bersumber pada fenomena – fenomena sebagai berikut:

- Benda yang bergerak pada atau dekat permukaan yang menyebabkan terjadinya gelombang dengan periode kecil, energi kecil pula.
- Angin merupakan sumber penyebab utama gelombang lautan.
- Gangguan seismik yang menyebabkan terjadinya gelombang pasang atau tsunami. Contoh gangguan seismik adalah : gempa bumi,dll.
- Medan gravitasi bumi dan bulan penyebab gelombang – gelombang besar, terutama menyebabkan gelombang pasang yang tinggi.

Untuk peramalan gelombang , digunakan data dipermukaan laut pada lokasi pembangkitan. Data yang dimaksud dapat diperoleh dari lokasi pengukuran langsung di atas permukaan laut atau pengukuran di darat didekat lokasi peramalan yang kemudian dikonversi menjadi data angin. Kecepatan angin diukur dengan anemometer, dan biasanya dinyatakan dalam satuan knot. Satu knot adalah panjang satu menit garis bujur melalui katulistiwa yang ditempuh dalam satu jam, atau $1 \text{ knot} = 1,852 \text{ km/jam} = 0,5 \text{ m/detik}$. Data angin dicatat tiap jam dan disajikan dalam bentuk tabel .

Untuk menghitung tinggi dan periode gelombang dihitung berdasarkan formula menurut SPM (*Shore Protection Manual*) 1984 Vol.1.

$$R_L = \frac{U_w}{U_l} \quad (2.1)$$

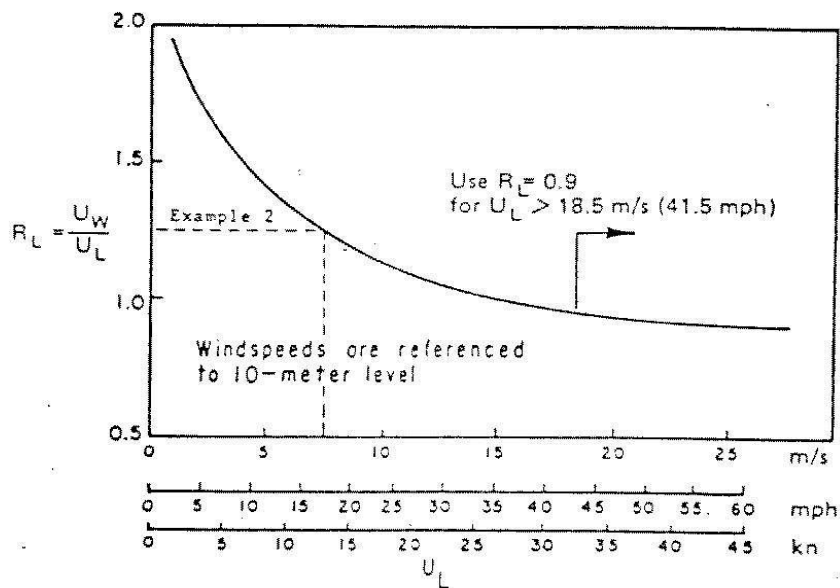
Dimana :

U_w = Kecepatan angin diatas permukaan laut (m/s)

U_l = Kecepatan angin diatas daratan (knots)

R_L = Hubungan U_l dan U_w (kecepatan angin di darat dan laut)

Untuk mendapatkan harga R_L didapatkan melalui grafik hubungan antara kecepatan angin di darat dan kecepatan angin di laut . Grafik hubungan antara U_l dan U_w ditampilkan pada Gambar 2.4 di bawah ini.



Gambar 2.4. Koefisien Koreksi Terhadap Pencatatan Kecepatan di Darat

Untuk menggunakan grafik yang ada pada buku Shore Protection Manual (1984), kecepatan angin tersebut masih harus dirubah ke faktor tegangan angin U_A (*wind-stress factor*) yang dapat dihitung dengan persamaan berikut,

$$U_A = 0,71 U^{1,23} \quad (2.2)$$

dimana :

U = kecepatan angin (m/s)

U_A = faktor tegangan angin (*wind stress factor*) (m/s)

Peramalan tinggi gelombang signifikan dan periode gelombang signifikan , dapat dilakukan dengan cara memasukkan nilai *Wind Stress* U_A dan panjang fetch. Lalu untuk mendapatkan tinggi dan periode tersebut dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut,

$$H_o = 5.112 \times 10^{-4} \times U_A \times F_{eff}^{0.5} \quad (2.3)$$

$$T_o = 6.238 \times 10^{-2} \times [U_A \times F_{eff}]^{0.5} \quad (2.4)$$

Dimana :

H_o = tinggi gelombang (m)

T_o = periode gelombang (sec)

F_{eff} = panjang rerata efektif (m)

U_A = faktor tegangan angina (m/s)

Sehingga dapat dihitung nilai H_s dan T_s menggunakan rumus berikut :

$$H_{rms} = \sum n \times H_o \quad (2.5)$$

$$H_s = 1.416 \times H_{rms} \quad (2.6)$$

$$T_s = \sum n \times T_o \quad (2.7)$$

Dimana

$$H_{rms} = \text{Hroot mean square (m)}$$

$$H_s = \text{Tinggi gelombang signifikan (m)}$$

$$T_s = \text{Periode signifikan}$$

$$n = \text{Prosentase kejadian angin}$$

$$H_o = \text{Tinggi gelombang}$$

$$T_o = \text{Periode gelombang}$$

2.2.4 Perhitungan Daya OWC

Dalam perhitungan energi gelombang laut, dimana energi gelombang laut adalah jumlah dari energi kinetik dan energi potensial gelombang. Energi kinetik adalah energi yang disebabkan oleh kecepatan partikel air karena adanya gerak gelombang, sedangkan energi potensial adalah energi yang dihasilkan oleh perpindahan muka air karena adanya gelombang. Besar energi kinetik pada gelombang laut adalah :

$$Ek = \frac{\rho g H^2 \lambda}{16} \quad (2.8)$$

Untuk perhitungan energi potensial didapatkan :

$$Ep = \frac{\rho g H^2 \lambda}{16} \quad (2.9)$$

Karena perhitungan antara energi kinetik dan energi potensial sama, maka didapatkan rumus energi total gelombang :

$$E_{total} = Ek + Ep = \frac{2\rho g H^2 \lambda}{16} = \frac{\rho g H^2 \lambda}{8} \quad (2.10)$$

Dimana :

$$E = \text{Kepadatan energi gelombang rata – rata satuan luas horizontal (J/m}^2\text{)}$$

$$\rho = \text{Massa jenis air laut (kg/m}^3\text{)}$$

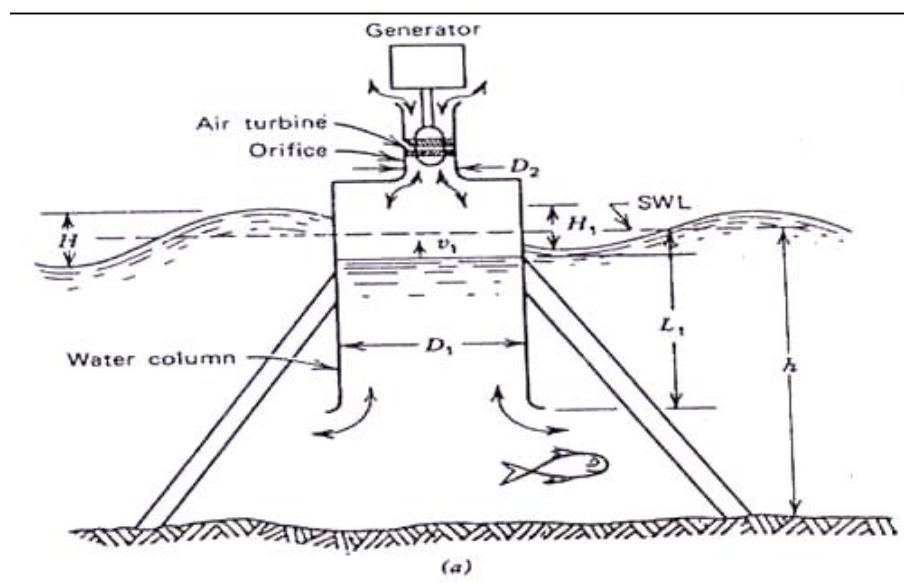
g = Percepatan gravitasi (m/s^2)

H = Tinggi gelombang (m)

λ = Panjang gelombang (m)

Potensi energi gelombang laut dapat dihitung dengan persamaan dari *Energy PowerResearch Institute* (EPRI 2009) yaitu energi gelombang (kW/m lebar puncak gelombang) = 0,42 kali kuadrat dari tinggi gelombang signifikan dikalikan dengan periode puncak gelombang.

$$P = 0,42 \times H_s^2 \times T_p \quad (2.11)$$



Gambar 2.5. Skema OWC *Bottom Entrance* (McCormick, 1981)

Dalam penelitian ini menggunakan PLTGL tipe OWC *bottom entrance* yang menerapkan persamaan Bernoulli. Persamaan Bernoulli memberikan tekanan total, yakni tekanan statis dan tekanan dinamis. Jumlah dari tekanan statis dan tekanan dinamis ini memberikan tekanan total. Daya masing – masing akan menjadi produk dari tekanan kali kecepatan aliran udara di kali dengan luas penampang melintang pada saat itu. Pernyataan tersebut di definisikan pada perumusan Bernoulli berikut ini.

$$P_u = (P_2 + \frac{1}{2} \rho v_1^2) v_1 A_1 \quad (2.12)$$

Dimana :

P_u = Daya pada OWC (Watt)

P_2 = Tekanan udara pada Orifice (Pa)

ρ = Densitas air (kg/m^3)

v_1 = Kecepatan aliran udara pada kolom OWC (m/sec)

A_1 = Area kolom OWC (m^2)

Untuk mendapatkan perhitungan daya pada OWC tersebut, sebelumnya dilakukan perhitungan dengan tahap – tahap di bawah ini :

1. Menghitung panjang gelombang (λ)

$$\lambda = \frac{g}{2\pi} T^2 \quad (2.13)$$

2. Menghitung kecepatan aliran udara sekitar kolom

$$v_1 = -\frac{\omega c}{2} H \sin(\omega_c t) \quad (2.14)$$

3. Menghitung kecepatan aliran udara pada orifice

$$v_2 = \frac{A_1}{A_2} v_1 \quad (2.15)$$

4. Menghitung tekanan pada orifice

- Hitung debit air

$$Q_1 = v_1 A_1 \quad (2.16)$$

$$Q_2 = v_2 A_2$$

- Hitung potensial kecepatan

$$\varphi_1 \cong v_1 \eta_1 = -\frac{\omega H^2}{4} \sin(\omega t) \cos(\omega t) \quad (2.17)$$

$$\varphi_2 \cong v_2 \eta_2 = -\left(\frac{A_1}{A_2}\right) \frac{\omega H^2}{4} \sin(\omega t) \cos(\omega t) \quad (2.18)$$

- Tekanan pada orifice

$$P_2 = P_o + \rho \left(\frac{A_1}{A_2}\right) \frac{\partial \varphi_1}{\partial t} + \rho \frac{Q}{A_2} (v_2 - v_1) \quad (2.19)$$

Dimana :

λ = Panjang gelombang (m)

g = gaya gravitasi (m/s^2)

v_1 = Kecepatan aliran udara sekitar kolom OWC (m/sec)

v_2 = Kecepatan aliran udara pada orifice (m/sec)

T = Periode gelombang (sec)

ω_c = Kecepatan sudut (rad/sec)

Q_1 = Debit air pada kolom OWC (m^3/sec)

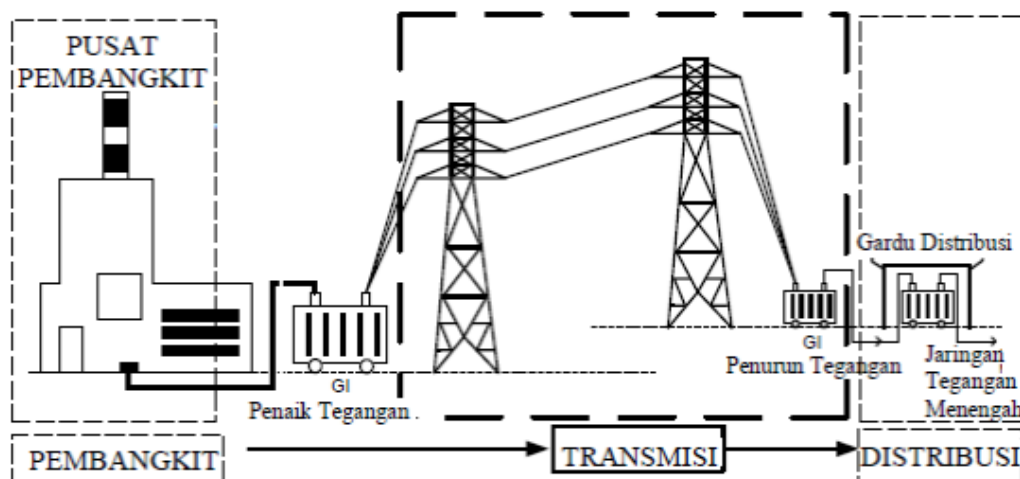
Q_2 = Debit air pada orifice (m^3/sec)

φ_1 = Potensial kecepatan pada kolom OWC (rad.m/sec)

φ_2 = Potensial kecepatan pada kolom OWC (rad.m/sec)

2.2.5 Jaringan Transmisi Energi Listrik

Sistem transmisi berfungsi menyalurkan tenaga listrik dari pusat beban melalui saluran transmisi, karena pembangkit listrik dibangun di tempat yang jauh dari pusat-pusat beban. Pada prinsip kerja sistem tenaga listrik dimulai dari bagian pembangkitan kemudian disalurkan melalui sistem jaringan transmisi menuju ke gardu induk, dan dari gardu induk disalurkan kepada beban melalui jaringan distribusi.



Gambar 2.6. Tiga Komponen Utama Dalam Penyaluran Tenaga Listrik
(Zuhal, 1998)

Tenaga listrik dibangkitkan dalam pusat pembangkit listrik lalu disalurkan menuju sistem transmisi yang sebelumnya, tegangan dinaikkan menggunakan transformator yang ada di pusat pembangkit listrik. Pada umumnya tegangan distribusi atau jaringan tegangan menengah (JTM) yang berkembang dan digunakan oleh PLN adalah tegangan 20kV. Setelah tenaga listrik disalurkan, maka tenaga listrik diturunkan lagi tegangannya dalam gardu – gardu tegangan rendah yang selanjutnya disalurkan melalui jaringan tegangan rendah (JTR) ke

beban. Pada tugas akhir ini hanya membahas mengenai perhitungan sistem transmisi tegangan menengah dengan menggunakan tegangan 20kV.

2.2.6 Kawat Penghantar

Kawat penghantar merupakan bahan yang digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik dari pusat pembangkit menuju ke beban (konsumen). Kabel listrik pada dasarnya mempunyai Kemampuan Hantar Arus (KHA) sesuai dengan beban yang dipikulnya. Pemilihan kawat penghantar yang digunakan berdasarkan besar beban yang dilayani, semakin besar beban yang dilayani maka semakin besar pula ukuran penampang kawat penghantar yang digunakan. Dengan penampang kawat yang besar akan membuat tahanan kawat menjadi kecil. Agar tidak terjadi kehilangan daya pada jaringan dan efisiensi penyaluran tetap tinggi, maka diperlukan tegangan yang tinggi. Dengan demikian besarnya penampang kawat penghantar tidak mempengaruhi atau mengurangi penyaluran tenaga listrik. Tetapi dengan penampang kawat yang besar akan membuat kenaikan harga peralatan. Oleh sebab itu pemilihan kawat penghantar diperhitungkan seekonomis mungkin.

Tabel 2.1 Sifat – Sifat Logam Penghantar Jaringan (Zuhal, 1998)

Macam Logam	Tahanan jenis $\left(\frac{m}{cm}\right)$	titik cair c^0	resistensi (Ω)	koefisien suhu k^0	kekuatan tarik $\left(\frac{kg}{mm^2}\right)$
Aluminium	0.03	660	33.3	0.0038	15-23
Tembaga	0.0175	1083	57.14	0.0037	30-48
Baja	0.42	1535	10	0.0052	46-90
Perak	0.018	960	62.5	0.0036	-
Kuningan Emas	0.07	1000	14.28	0.0015	-
Emas	0.022	1063	45.45	0.0035	-

Pada tabel diatas menunjukkan berbagai macam logam penghantar listrik. Pada umumnya untuk jaringan transmisi menggunakan kawat penghantar tembaga dan aluminium. Dalam perencanaan transmisi ini digunakan jenis logam tembaga, dimana penghantar listrik jenis ini mempunyai konduktivitas dan daya hantar yang tinggi dibanding aluminium.

2.2.7 Analisa Perhitungan Jaringan Transmisi

2.2.7.1 Perhitungan Daya Listrik

Berikut ini merupakan persamaan yang digunakan untuk menghitung daya yang masuk dan keluar dari masing – masing trafo guna untuk perancangan transmisi selanjutnya. (Zuhal, 1998) .

$$P = 3 \times V \times I \times \cos \theta \quad (2.20)$$

Dimana:

$$V = I \times R \quad (2.21)$$

Sehingga dapat ditulis :

$$P = 3 \times I^2 \times R \times \cos \theta \quad (2.22)$$

Dimana :

P : daya listrik (watt)

V : tegangan (volt)

I : arus listrik (ampere)

R : resistensi / tahanan listrik (Ω)

Cos θ : 0,8

2.2.7.2 Perhitungan rugi tembaga

Rugi tembaga adalah rugi yang dihasilkan oleh tembaga sebagai konduktor penghantar. Rugi ini diakibatkan oleh adanya resistensi bahan. Pada persamaan 1 akan didapatkan perhitungan arus pada trafo yang nantinya digunakan untuk pemilihan luas penampang kabel yang dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 2.2. Ukuran Penampang Kabel Tembaga dan Pengaman (Kusworo, 2012)

Penampang kabel (mm)	KHA (A)	pengaman
1	11	2,4,6
1,5	14	10
2,5	20	15
4	25	20
6	31	25
10	43	35
16	75	60
25	100	80
35	125	100
50	160	125
70	200	150
95	240	200
120	260	225
150	325	250
185	380	300
240	450	350
300	525	400
400	640	500
500		600
625		700
800		830
1000		1000

Dari luas penampang yang didapatkan, maka dapat dilakukan perhitungan resistensi. Adapun persamaan umum yang digunakan menurut zuhal adalah :

$$R = \frac{\rho \times l}{A} \quad (2.23)$$

Dimana :

R : Resistensi / tahanan listrik (Ω)

ρ_{tj} : nilai tahanan jenis penghantar ($\Omega \frac{mm^2}{m}$)

l : panjang penghantar (m)

A : luas penampang (mm^2)

2.2.7.3 Efisiensi trafo

Untuk transformator daya frekuensi rendah, efisiensi transformator tidak bisa mencapai 100%, namun 98% dikarenakan adanya kerugian daya yang terjadi pada trafo. Adapun persamaan umum yang digunakan untuk mengetahui efisiensi trafo adalah sebagai berikut :

$$\eta = \frac{P_o}{P_i} \times 100\% \quad (2.24)$$

Dimana,

η : efisiensi trafo (98%)

P_o : Daya listrik yang keluar dari trafo (Watt)

P_i : Daya listrik yang masuk pada trafo(Watt)

2.2.8 Analisa Perhitungan Biaya

Selain untuk mencari kebutuhan listrik dari masing – masing wilayah hingga melakukan perencanaan sistem transmisi, perhitungan biaya sangat dibutuhkan sebagai parameter apakah suatu pembangkit listrik tersebut layak dan cocok untuk dibangun. Sebagian besar dalam hal penyediaan listrik, PT. PLN sebagai pemasok utama menggunakan bahan bakar fosil sebagai sumber pembangkit listrik. Terutama pada pulau – pulau kecil yang menggunakan PLTD dengan bahan baku yang dianggap tidak efisien dan ekonomis, seperti halnya di Pulau Bawean. Oleh karena itu untuk mengurangi dan mengatasi hal tersebut dibutuhkan suatu pembangkit alternatif, seperti PLTGL yang berpotensi di Pulau Bawean. Berikut tabel status energi laut alternatif secara global :

Tabel 2.3 Status teknologi energi laut yang dapat diperbarui (UNDP 2000)

TABLE 7.23. CURRENT STATUS OF MARINE RENEWABLE ENERGY TECHNOLOGIES				
Technology	Maturity	Load factor (percent)	Installed capital cost (dollars per kilowatt)	Unit cost of electricity (dollars per kilowatt-hour)
Tidal barrage	Virtually abandoned	20–30	1,700–2,500	0.08–0.15
Wave-shoreline OWC	Experimental	20–30	2,000–3,000	0.10–0.20
Wave-near shoreline OWC	Commercial 2002–05	25–35	1,500–2,500	0.08–0.15
Wave-offshore – point absorber	Commercial 2010 or later	30–60	2,500–3,000	0.06–0.15
Tidal current turbine	Commercial 2005–10	25–35	2,000–3,000	0.08–0.15
OTEC	Commercial 2005–10	70–80	Unclear	Unclear

Dalam analisa perhitungan biaya dilakukan perhitungan total biaya tahunan atau *annual cost* yang dibagi dengan daya listrik per kW yang dihasilkan selama 1 tahun. Beberapa parameter perhitungan biaya menurut Constans , 1979 ;

A. Biaya Elemen

a. Biaya struktur EWC

b. Biaya perlengkapan daya

- Generator

- Turbin

- Lain – lain

c. Biaya transmisi

- Kabel laut

- Perlengkapan terminal pantai

- Perlengkapan jaringan listrik di darat

d. Biaya total instalasi

e. Biaya rata – rata per kW

f. *Annual cost* :

- Modal 15% (*life time* untuk 15 tahun, *interest* 12%)

- Biaya perbaikan dan perawatan

- Biaya operator

- Biaya administrasi

g. Biaya per kWh

biaya produksi per kWh = $\frac{\text{Total biaya tahunan}}{\text{Energi yang dihasilkan dalam 1 tahun}}$ (2.25)

2.2.9 Informasi Lokasi Pulau Bawean Gresik

Bawean adalah sebuah pulau yang letaknya di Laut Jawa, sekitar 150 kilometer sebelah utara Kabupaten Gresik, Provinsi Jawa Timur. Secara geografis Pulau Bawean berada diantara 54⁰2' - 5⁰53' LS dan 112⁰34' – 112⁰57' BT dengan luasan wilayah sekitar 196,27 km². Sedangkan secara administratif Pulau Bawean berada dalam wilayah Kabupaten Tingkat II Gresik . Pulau Bawean hanya

memiliki 2 kecamatan yakni kecamatan Tambak dan kecamatan Sangkapura , dengan jumlah penduduknya sekitar 70.000 jiwa.

Kecamatan Sangkapura mempunyai luasan 118,72 km², dengan jumlah desa 17. Sedangkan untuk Kecamatan Tambak dengan luasan 77,55km², dengan jumlah desa 13. Batas – batas Pulau Bawean sebelah barat, timur , utara maupun selatan semuanya dibatasi oleh Laut Jawa. Karena dengan kondisi Pulau Bawean yang dikelilingi oleh lautan, maka potensi gelombang laut sebagai sumber energi terbarukan sangat cocok dilakukan di wilayah ini.

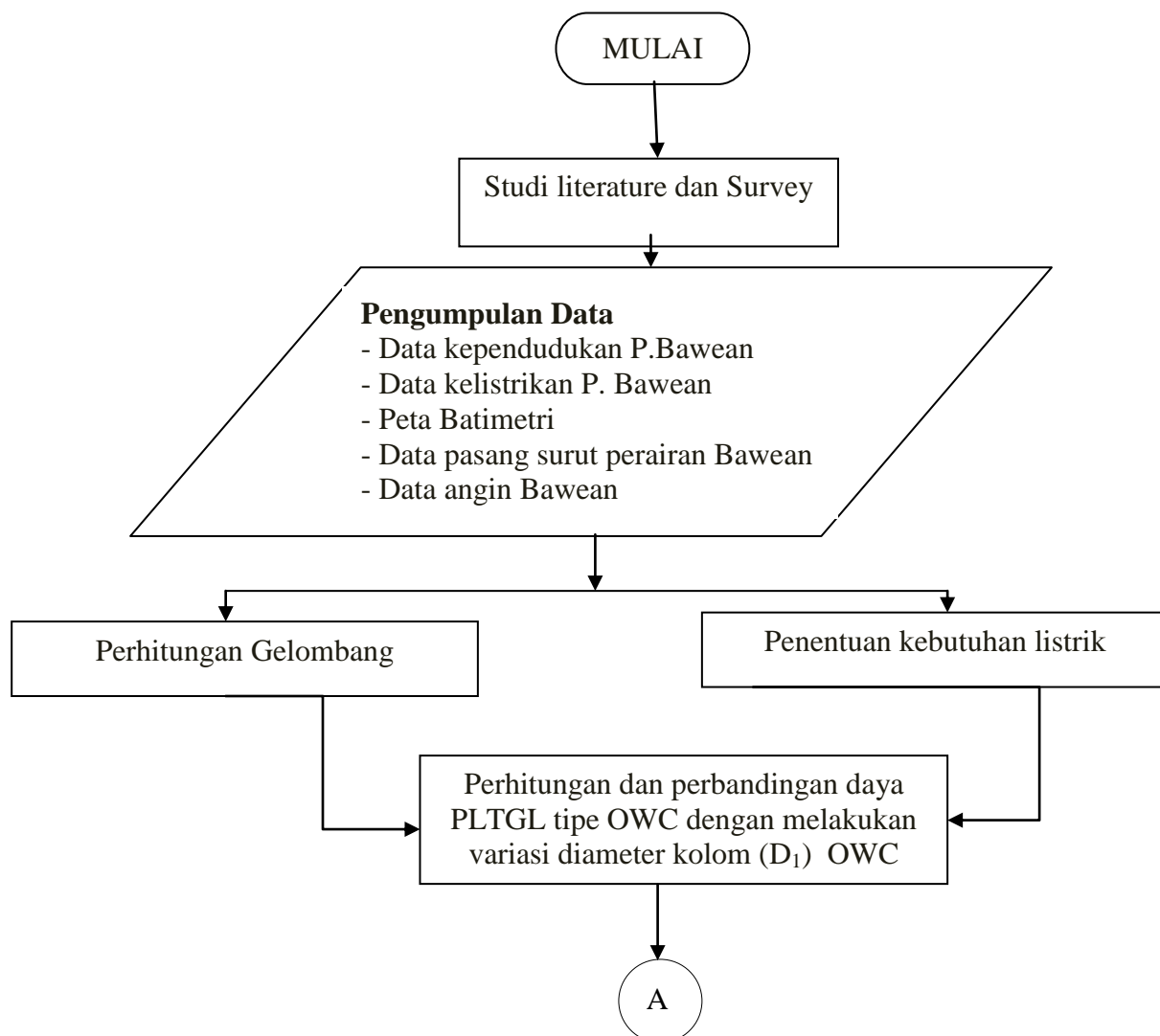
Halaman ini sengaja dikosongkan

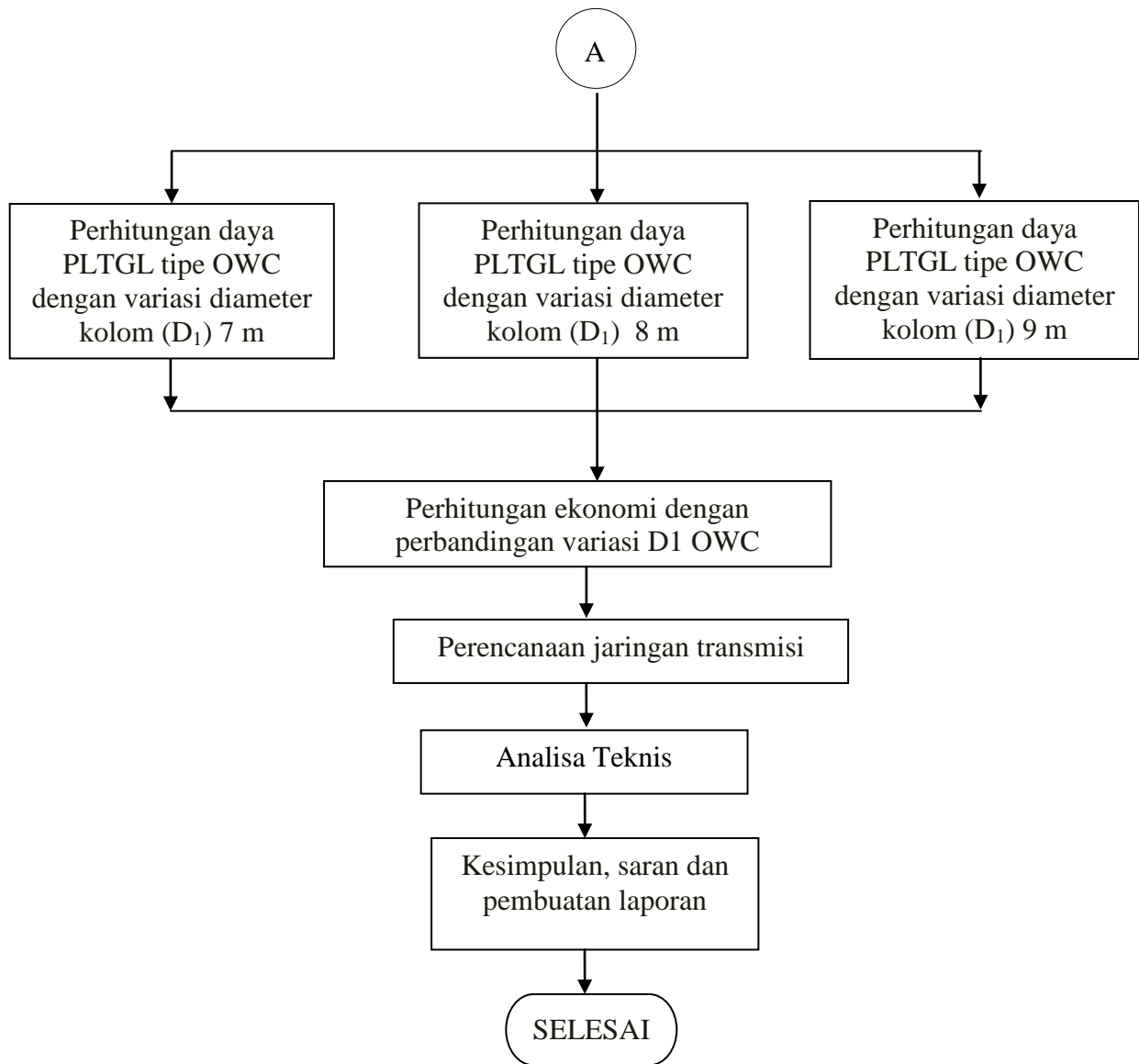
BAB III

METODOLOGI

3.1 Diagram Alur Metodologi

Untuk menyelesaikan beberapa permasalahan dalam Tugas Akhir ini, perlunya tahapan penyelesaian dengan menggunakan diagram alur. Metodologi diawali dengan pemahaman teori melalui studi literatur yang didapatkan melalui buku, jurnal – jurnal, internet dan referensi lain. Selain itu penulis juga melakukan survey lapangan pada akhir Juni 2013, untuk mengetahui bagaimana kondisi *real* di lapangan dan untuk kepentingan pengumpulan data. Adapun alur metodologi pada Tugas Akhir ini dijelaskan pada Gambar 3.1 .





Gambar 3.1 Diagram alur

3.2 Prosedur Metodologi

Penjabaran diagram di atas akan dijelaskan pada langkah-langkah dibawah ini:

1. Studi Literatur dan Survey

Dalam tugas akhir ini, literatur-literatur yang dipelajari dalam pemahaman teori adalah jurnal, buku – buku, internet dan referensi lain yang berhubungan dengan penelitian ini dalam penyelesaian masalah. Selain studi literatur, penulis melakukan survey lapangan secara langsung di Pulau Bawean untuk mengetahui kondisi *real* di lapangan dan mengumpulkan data- data penunjang.

2. Pengumpulan data

Pengumpulan data – data digunakan sebagai bahan penunjang dalam melakukan penelitian ini. Data – data tersebut didapatkan melalui beberapa sumber yang berkaitan langsung. Untuk data kependudukan Pulau Bawean didapatkan dari BPS (Badan Pusat Statistik) Kabupaten Gresik periode 2011. Data kelistrikan didapatkan melalui dua sumber yakni PLN Kabupaten Gresik dan PLN Rayon Bawean pada saat melakukan survey lapangan ke Bawean pada akhir Juni 2013. Data kelistrikan yang didapatkan berupa data jaringan transmisi listrik dan perencanaan pengaliran listrik yang akan dilakukan di Kecamatan Tambak, Bawean. Untuk peta batimetri Pulau Bawean, penulis menggunakan data pada penelitian sebelumnya. Data pasang surut didapatkan Dinas Hidro-Oceanografi TNI AL 2012, dan untuk data angin didapatkan melalui BMKG (Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika). Data angin tersebut digunakan untuk melakukan peramalan gelombang.

3. Penentuan kebutuhan listrik

Penentuan kebutuhan listrik dihitung berdasarkan data perencanaan pemasangan listrik di Kecamatan Tambak yang didapatkan dari PLN Rayon Bawean (hasil kunjungan ke Bawean) . Dari data yang didapatkan, penulis dapat menghitung berapa kebutuhan listrik pada perencanaan tersebut dengan mengansumsi bahwa satu rumah membutuhkan 450 Watt.

4. Perhitungan Gelombang

Melakukan perhitungan pembangkitan gelombang dengan menggunakan data angin yang didapat dari BMKG Maritim II Perak Surabaya. Tahap yang dilakukan adalah membuat diagram angin atau yang disebut dengan *wind rose* per bulan dengan periode lima tahun. Dari *wind rose*, didapatkan arah angin dominan yang nantinya digunakan untuk melakukan perhitungan fetch. Perhitungan ketinggian gelombang signifikan dan periode gelombang signifikan yang dibutuhkan untuk menghitung daya *output* dari OWC didapatkan dengan menggunakan formula SPM.

5. Perhitungan dan perbandingan daya PLTGL tipe OWC dengan variasi diameter kolom

Setelah mengetahui berapa kebutuhan listrik yang dibutuhkan, selanjutnya dilakukan perhitungan daya yang keluar dari OWC dengan menggunakan perbandingan diameter kolom OWC. Variasi diameter kolom OWC yang digunakan adalah 6m , 7 m, dan 8m. Dari perhitungan ketiga variasi diameter tersebut, akan dilakukan pemilihan sesuai dengan daya yang dibutuhkan di Kecamatan Tambak, Bawean.

6. Perencanaan jaringan transmisi

Melakukan perencanaan transmisi dari PLTGL hingga disalurkan menuju gardu penduduk pada daerah yang termasuk dalam daftar perencanaan pemasangan listrik di Kecamatan Tambak. Perencanaan ini dilakukan untuk mengetahui berapa jarak antara trafo satu ke trafo yang lain. Selain itu untuk menghitung *losses cable* yang terjadi pada jaringan transmisi ini. Selanjutnya hasil akan ditampilkan dalam bentuk tabel dan pemetaan.

7. Analisa teknis

Analisa teknis dari segi lokasi dan ketersediaan daya hasil OWC selama setahun.

8. Perhitungan biaya

Perhitungan biaya dihitung dengan menggunakan metode Constans (1979) untuk mendapatkan harga per kwh . Beberapa parameter yang digunakan sudah dicantumkan pada dasar teori.

9. Kesimpulan, saran dan pembuatan laporan

Menarik kesimpulan dari hasil akhir yang didapat dan memberikan saran pada penelitian ini sebagai bahan pertimbangan penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan pembangunan PLTGL tipe OWC.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Kependudukan Pulau Bawean

Pulau Bawean terletak sekitar 80 mil atau 120 kilometer di bagian utara Kabupaten Gresik, dengan luas wilayah sekitar 196,8 km² dan memiliki beberapa pulau kecil yaitu Pulau Gili Timur, Pulau Gili Barat, Pulau Birang – Birang, Pulau Nisa, Pulau Noko, Pulau Tanjung Cina, Pulau Karang Billa dan Pulau Selayar.



Gambar 4.1.Peta Pulau Bawean, Gresik (Sumber : Wikipedia)

Pulau Bawean memiliki dua kecamatan, yakni Kecamatan Sangkapura 17 Desa/ Kelurahan dan Kecamatan Tambak 13 Desa/Kelurahan dengan jumlah penduduk 85.411 orang. Jumlah penduduk untuk masing – masing Kecamatan ditampilkan pada Tabel 4.1 dan 4.2 berikut ini.

Tabel 4.1. Jumlah Penduduk Menurut Jenis Kelamin dan Desa / Kelurahan
Kecamatan Sangkapura Tahun 2011 (BPS Kab.Gresik,2012)

Kode Desa	Desa / Kelurahan	Laki-laki	Perempuan	Jumlah Penduduk
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
001	Kumalasa	1397	1492	2889
002	Lebak	1526	1617	3143
003	Bululanjang	744	1068	1812
004	Sungaiteluk	1179	1268	2447
005	Kotakusuma	1199	1239	2438
006	Sawahmulya	1409	1291	2700
007	Sungairujing	1486	2021	3507
008	Daun	2988	2907	5895
009	Sidogedungbatu	2019	2117	4136
010	Kebuntelukdalam	1704	1759	3463
011	Balikterus	915	1035	1950
012	Gunungteguh	2037	2243	4280
013	Patarselamat	1174	2209	3383
014	Pudakittimur	674	683	1357
015	Pudakitbarat	742	838	1580
016	Suwari	835	920	1755
017	Dekatagung	1048	1291	2339
Total		23076	25998	49074

Tabel 4.2. Jumlah Penduduk Menurut Jenis Kelamin dan Desa / Kelurahan
Kecamatan Tambak Tahun 2011 (BPS Kab.Gresik,2012)

Kode Desa	Desa / Kelurahan	Laki-laki	Perempuan	Jumlah Penduduk
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
001	Telukjatidawang	2609	2292	4901
002	Gelam	1187	1201	2388
003	Sukaoneng	1205	1069	2274
004	Klompanggubug	811	798	1609
005	Sukalela	431	429	860
006	Pekalongan	1156	1174	2330
007	Tambak	2524	2412	4936
008	Grejeg	315	341	656
009	Tanjungori	2844	2832	5676
010	Paromaan	1147	1127	2274
011	Diponggo	541	541	1082
012	Kepuhteluk	2049	1943	3992
013	Kepuhlegundi	1711	1648	3359
Total		18530	17807	36337

Kecamatan Sangkapura menjadi pusat perdagangan di Pulau Bawean, karena letaknya yang strategis terletak dekat dengan pelabuhan. Mayoritas penduduk Bawean memiliki mata pencaharian sebagai nelayan, petani, pengrajin dan sebagai TKI (Tenaga Kerja Indonesia) di Malaysia dan Singapura. Minimnya lapangan kerja di Bawean menjadi salah satu alasan mayoritas penduduknya bekerja sebagai TKI. Belum bisa berkembangnya sektor industri di Pulau Bawean dikarenakan beberapa faktor. Faktor utama yang dominan adalah minimnya ketersediaan listrik di Pulau Bawean sehingga menyebabkan investor berfikir dua kali untuk mengembangkan industri.



Gambar 4.2.Aktifitas Penduduk Bawean di Pagi Hari (*Dok. Survey*)



Gambar 4.3.Suasana di Pusat Sangkapura (*Dok. Survey*)

4.2 Data Kelistrikan Pulau Bawean

Kebutuhan akan listrik di Pulau Bawean hingga saat ini masih mengalami krisis. Menurut Bapak Wartikno, selaku kepala operasional PLN Gresik menyebutkan bahwa pembangkit listrik yang digunakan hingga saat ini adalah PLTD (Pembangkit Listrik Tenaga Diesel) dengan bahan bakar menggunakan solar.

Pada pemakaian solar sebagai bahan baku pembangkit listrik, perharinya membutuhkan 418.028 liter solar. Selain bahan baku yang dinilai tidak efisien, sering kali pengiriman bahan baku solar mengalami hambatan dikarenakan ombak yang cukup tinggi. Gambar 4.4 menunjukkan tangki penyimpanan solar yang terdapat di kawasan PLTD Bawean. Menurut salah satu staff PLN Bawean yang turut mendampingi pada saat penulis mengunjungi kawasan PLTD secara langsung, pasokan dikirim tiap dua minggu sekali dan dilakukan penyimpanan di dalam tangki.



Gambar 4.4.Tangki Penyimpanan Solar PLTD Bawean (*Dok. Survey*)



Gambar 4.5 Mesin PLTD Bawean (*Dok. Survey*)

Menurut data PLN rayon Bawean, beban puncak di Pulau Bawean terjadi pada bulan Januari 2013 sebesar 3.160 kW dengan jumlah pelanggan 15.809. Jumlah pelanggan Listrik di rayon Bawean sebesar 16.509 pelanggan yang terdiri dari beberapa sektor, seperti yang ditampilkan pada Tabel 4.3 berikut ini.

Tabel 4.3 Data Pelanggan Rayon Bawean (PLN Gresik, 2012)

Sektor	Jumlah	Prosentase
Rumah Tangga	12427	75,27%
Industri	3589	21,74%
Sosial	455	2,76%
Pemerintah	38	0,23%

Sektor rumah tangga memiliki jumlah pelanggan terbesar pertama sebesar 75,27%, sedangkan industri menduduki peringkat kedua sebesar 21,74 %, sektor sosial sebesar 2,76 % dan 0,23 % untuk sektor pemerintah. Untuk sektor industri, sebagian besar penduduk di Pulau Bawean sebagai pengrajin anyaman dalam skala kecil sehingga tidak membutuhkan listrik dalam skala besar. Menurut Achmad Antono selaku Kepala PLN Bawean, ketika penulis melakukan

kunjungan, masing – masing pelanggan baru dari berbagai sektor dikenakan daya listrik 450 Watt. Adapun jumlah calon pelanggan yang masih di bawah jaringan sebanyak 500 calon pelanggan dan yang belum mendapatkan jaringan dan perlunya perluasan jaringan listrik sebesar 2.250 calon pelanggan.

Untuk memasok kebutuhan listrik di Pulau Bawean saat ini, PLN rayon Bawean dibantu oleh beberapa mesin dari perusahaan lain yang turut dalam pengadaan listrik . Beberapa yang telah memasok listrik ditampilkan pada Tabel 4.4 dibawah ini.

Tabel 4.4 Daftar Mesin Pemasok Listrik Pulau Bawean (PLN Gresik , 2012)

No	Uraian	Kapasitas	
1	Mesin milik PLN (Persero) 3 x 350 kW	1050	kW
2	Mesin sewa PT. Purnama Indonesia 5 x 400 kW	2000	kW
3	Mesin sewa CV. Gading 4 x 500 kW*	2000	kW
4	Mesin emergency PT. BAP 2 x 350 kW**	700	kW
5	Mesin emergency PT. Neo Java Tek 1 x 600 kW**	600	kW
	Jumlah	6350	kW

Keterangan :

* CV. Gading *existing* pada tanggal 28 Januari 2013

** Mesin sewa *emergency* berakhir tanggal 27 Januari 2013

Pada tabel 4.4 menunjukan jumlah pasokan listrik yang menyuplay Pulau Bawean sebesar 6350 kW pada tahun 2012. Namun terdapat dua mesin penyuplai yang berakhir pada tanggal 27 Januari 2013, sehingga terhitung pada saat ini hanya tersedia pasokan listrik sebesar 5050 kW.



Gambar 4.6 Mesin PLTD Bawean yang Masih Beroperasi (*Dok.Survey*)



Gambar 4.7. Peta *single line* 20 kV PLTD Sangkapura (PLN Bawean, 2012)

Pusat PLTD PT. PLN UPJ Bawean terletak didalam kompleks Perikanan Bawean. Saluran transmisi pada pusat PLTD disalurkan ke tiga penyulang, yakni penyulang Sangkapura dengan *line* warna biru, penyulang kota dengan *line* warna kuning dan penyulang Tambak dengan *line* warna merah. Jalur trasmisi pada

Gambar 4.7 merupakan jalur lingkaran luar Pulau Bawean. Tegangan trafo yang digunakan pada jaringan transmisi PLTD Bawean ini menggunakan tegangan 20 kV. Maka untuk melakukan perencanaan transmisi pada tugas akhir ini menggunakan tegangan trafo 20 kV.



Gambar 4.8. Trafo PLTD Bawean (*Dok. Survey*)



Gambar 4.9. PLTD penyulang Sangkapura (*Dok. Survey*)

4.3 Analisa Kebutuhan Listrik di Pulau Bawean

Analisa kebutuhan listrik di Pulau Bawean menggunakan data yang didapatkan dari PLN Rayon Bawean, ketika penulis melakukan kunjungan.



Gambar 4.10. Penulis Melakukan Kunjungan ke PLN Rayon Bawean

(Dok. Survey)

Data yang didapat mengenai data perencanaan pemasangan listrik di Pulau Bawean, dimana perencanaan tersebut belum mendapatkan persetujuan dari PLN pusat. Maka dari itu penulis menggunakan data tersebut untuk menghitung kebutuhan listrik yang diperlukan.

Pada Tabel 4.5 menjelaskan bahwa terdapat 4 desa di Kecamatan Tambak yang masuk ke daftar usulan perencanaan pengaliran listrik. Mayoritas ke empat desa tersebut terletak di bagian utara - barat Pulau Bawean. Sesuai dengan penelitian sebelumnya, didapatkan potensi terbesar energi gelombang laut dan kriteria wilayah yang memadai untuk dilakukan pembangunan PLTGL terletak di utara Pulau Bawean. Pada pemilihan lokasi ini juga dapat menjangkau pendistribusian listrik dengan PLTGL pada bagian utara hingga barat Pulau Bawean.

Tabel 4.5. DataUsulan Perencanaan Pengaliran Listrik di Pulau Bawean,
Kecamatan Tambak 2012 (PLN Bawean , 2012)

No	Daftar Desa	Jumlah Rumah	Perencanaan Jumlah Tiang Listrik
1	Desa Tanjung Ori		
	* Langgetan	60	22
	* Cengker Manis	80	20
2	Desa Promaan		
	* Pasar angin –angina	90	35
3	Desa Pekalongan		
	* Gunung Deje	64	9
	* Kampung Pekalongan	28	4
4	Desa Gelam		
	* Tanjung Alas	160	12
Total		482	102

Untuk menganalisa kebutuhan listrik pada 4 desa tersebut, maka diperlukannya asumsi per rumah mendapatkan listrik dengan daya 450 Watt. Maka kebutuhan listrik dari masing – masing desa dijabarkan dengan perhitungan dibawah ini.

- Kebutuhan listrik = Jumlah rumah \times 450 Watt
- Desa Promaan = 90 \times 450 Watt
= 40500Watt
- Desa Tanjung Ori = (60 + 80) \times 450 Watt
= 63000Watt
- Desa Pekalongan = (64 + 28) \times 450 Watt
= 41400 Watt

- Desa Gelam $= 160 \times 450 \text{ Watt}$
 $= 72000 \text{ Watt}$

Dari seluruh perhitungan daya tiap desa, maka didapatkan total keseluruhan kebutuhan listrik dalam usulan perencanaan pengaliran listrik adalah sebesar 216900 Watt atau 216,9 kiloWatt.

4.4 Perhitungan Daya PLTGL tipe OWC

4.4.1 Analisa Batimetri

Dari penelitian sebelumnya (Hadian, 2014), lokasi yang berpotensi untuk pembangunan PLTGL di Pulau Bawean terdapat pada kedalaman 6 m seperti pada Gambar 4.11. Jarak dari letak PLTGL hingga darat sepanjang 600 m.



Gambar 4.11. Batimetri Perairan Utara Bawean

Berdasarkan data – data OWC yang sudah diinstal sebelumnya di beberapa negara, diambil diameter kolom 8 m, seperti yang diinstal di Trivandrum India pada tahun 1995. Dari data awal tersebut penulis melakukan variasi pada kolom OWC untuk mendapatkan daya yang sesuai dengan kebutuhan di Pulau Bawean.

Tabel 4.6. Data – Data OWC yang telah diinstal (Graw , 1996)

Installed power	Location, Country	Type	Width, Water depth	Period
375 kW 1000 kW 560 kW	Japan Sea, Japan	floating OWC	B: 12 m, d: 40 m	1978-1979 1979-1980 1985-1986
500 kW	Toftestalen, Norway	Coastline OWC	: 10 m, d: 70 m	1985-1988
150 kW 75 kW	Trivandrum, India	Breakwater OWC	B: 8 m, d: 10 m	1990 - 1995 since 1996
75 kW	Isle of Islay, Scotland	Coastline OWC	B: 17 m, d: 3 m	since 1988
60 kW	Sakata, Japan	Breakwater OWC	B: 20 m, d: 18 m	since 1988
40 kW	Sanze, Japan	Coastline OWC	B: 17 m, d: 3 m	1983-1984
40 kW	Niigata, Japan	Breakwater OWC	B: 13 m, d: 6,5 m	1986-1988
30 kW	Kujukuri, Japan	OWC with storage	10 : 2 m, d: 2 m	since 1987
3 kW	Dawanshan, China	Coastline OWC	B: 4 m, d: 10 m	since 1990

4.4.2 Analisa Pasang Surut

Menurut data pasang surut yang didapat dari Dinas Hidro-Oceanografi TNI AL 2012, tetapan pasang surut di Pulau Bawean sebagai berikut,

Tabel 4.7 Tetapan Pasang Surut Perairan Bawean

Tetapan yang digunakan (Tidal Constants)	M ₂	S ₂	N ₂	K ₂	K ₁	O ₁	P ₁	M ₄	MS ₄	Z ₀
Amplitudo dalam cm (Amplitude in cm)	5	8	-	-	54	26	15	-	-	110
360°-g	344	4	-	-	43	101	41	-	-	-

Data pada Tabel 4.7 digunakan untuk mengetahui tipe pasang surut yang terjadi di Pulau Bawean dan juga sebagai patokan dalam penentuan atau perencanaan

panjang OWC dari SWL. Untuk mengetahui tipe pasang surut dilakukan perhitungan dengan menggunakan formula Formzahl :

$$F = \frac{(K1+O1)}{(M2+S2)}$$

Maka :

$$F = \frac{(54+26)}{(5+8)}$$

$$F = 6,15$$

Diketahui bahwa F yang didapat sebesar 6,15, maka tipe pasang surut yang terjadi di perairan Pulau Bawean masuk dalam tipe *diurnal* ($F > 3$). Pasang surut tipe ini merupakan pasang surut harian, dimana dalam satu hari terjadi satu kali pasang dan satu kali surut.

Tabel 4.8 Tipe Pasang Surut

F	Tidal type
$0 > F < 0,25$	Semidiurnal
$0,25 > F < 1,5$	Mixed, mainly diurnal
$1,5 > F < 3,0$	Mixed, mainly diurnal
$F > 3,0$	Diurnal

- **Tinggi muka air laut rata – rata (MSL)**

$$MSL = Z_0$$

$$MSL = 110 \text{ cm} = 1.1 \text{ m}$$

- **Perhitungan MHWL(*Mean High Water Level*) dan HHWL(*Highest High Water Level*)**

$$MHWL = MSL + (M2+S2)$$

$$= 123 \text{ cm} = 1,23 \text{ m}$$

$$HHWL = MSL + (M2+S2+O1+K1)$$

$$= 203 \text{ cm} = 2,03 \text{ m}$$

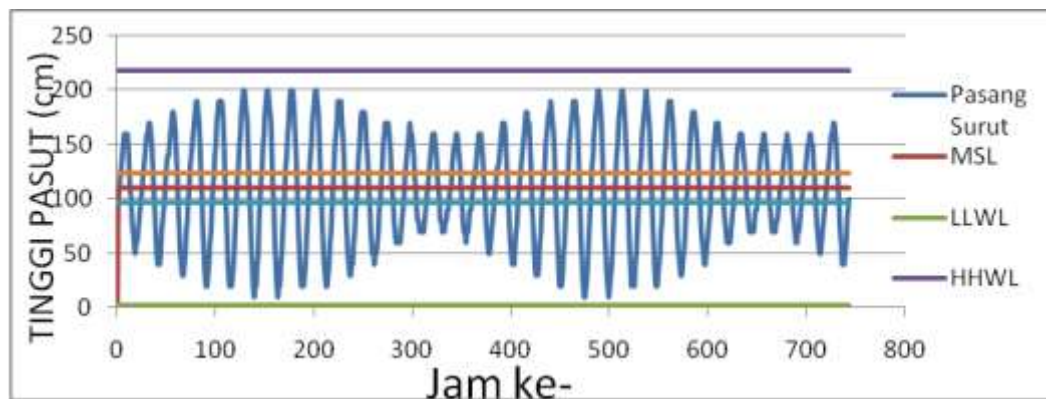
- **Perhitungan MLWL(Mean Low Water Level) dan LLWL(Lowest Low Water Level)**

$$\text{MLWL} = \text{MSL} - (\text{M2} + \text{S2})$$

$$= 97 \text{ cm} = 0,97 \text{ m}$$

$$\text{LLWL} = \text{MSL} - (\text{M2} + \text{S2}) - (\text{O1} + \text{K1})$$

$$= 17 \text{ cm} = 0,17 \text{ m}$$



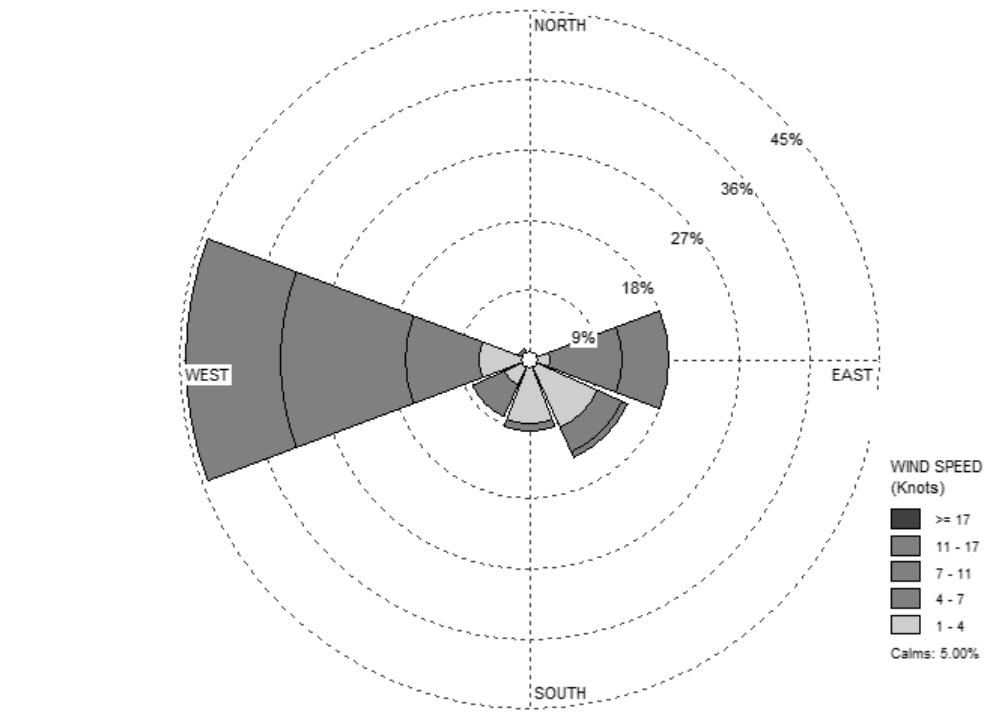
Gambar 4.12. Grafik Pasang Surut Perairan Bawean.

Dari HHWL dan LLWL maka dapat diasumsi untuk L pada OWC yang direncanakan adalah 2,75 m.

4.4.3 Perhitungan Pembangkitan Gelombang oleh Angin.

Untuk pembangkitan gelombang oleh angin, diperlukan data angin yang diukur langsung diatas permukaan laut ataupun bisa juga diukur di darat didekat lokasi peramalan yang kemudian dikonversi menjadi data angin di laut. Kecepatan angin di laut diukur dengan anemometer dan biasanya dinyatakan dalam knot. Pada tugas akhir ini data angin yang digunakan didapatkan dari BMKG Maritim Perak II Surabaya .

Jumlah angin yang dicatat selama beberapa tahun pengamatan adalah sangat besar. Untuk itu data tersebut harus diolah dan disajikan dalam bentuk diagram yang disebut mawar angin atau *wind rose*. Berikut ini adalah diagram angin pada bulan Januari periode 2008-2012.



Gambar 4.13. *Wind rose* bulan Januari Periode 2008 – 2012

4.4.3.1 Perhitungan Panjang Fetch Efektif

Didalam tinjauan pembangkitan gelombang di laut fetch dibatasi oleh bentuk daratan yang mengelilingi laut. Di daerah pembentukan gelombang, gelombang tidak hanya dibangkitkan dalam arah angin yang sama tetapi juga dalam berbagai sudut terhadap arah angin.

Fetch dihitung dengan menggunakan 2 langkah, yaitu :

1. Mengukur panjang fetch berdasarkan gambar peta lokasi yang ada dan menghitung panjang segmen fetch (X_i dalam km).
2. Menghitung besarnya fetch efektif dengan rumus

$$F_{eff} = \frac{\sum x_i \cdot \cos \alpha}{\sum \cos \alpha}$$

Dimana :

F_{eff} = fetch rerata efektif

X_i = panjang segmen fetch yang diukur dari titik observasi gelombang ke ujung akhir fetch

α = deviasi pada kedua sisi dari arah angin, dengan menggunakan pertambahan 6° sampai sudut sebesar 42° pada kedua sisi dari arah angin

Arah angin yang berpengaruh terhadap fetch adalah arah angin dari arah barat, oleh karena itu dapat dihitung nilai –nilai F_{eff} sebagai berikut :

Tabel 4.9. Perhitungan Fetch

a	cos a	Jarak pada gambar	X_i (km)	$X_i \cos a$
42	0,74	5,12	251,90	187,20
36	0,81	4,92	242,06	195,83
30	0,87	5,19	255,15	220,96
24	0,91	5,06	249,14	227,60
18	0,95	5,08	249,69	237,47
12	0,98	4,84	238,35	233,14
6	0,99	4,91	241,57	240,25
0	1,00	4,99	245,27	245,27
6	0,99	5,02	246,98	245,63
12	0,98	5,56	273,55	267,57
18	0,95	5,98	294,21	279,81
24	0,91	6,45	317,34	289,90
30	0,87	6,52	320,78	277,80
36	0,81	6,84	336,52	272,25
42	0,74	6,76	332,40	247,02
Σ	13,51			3667,70
$F_{eff} =$	271,46	km	=	271462 m

4.4.3.2 Perhitungan Tinggi dan Periode Gelombang

Tinggi dan periode gelombang dihitung berdasarkan formula menurut SPM (Shore Protection Manual), 1984 vol.1. Untuk menghitung digunakan persamaan 2.1 – 2.7 pada bab sebelumnya.

Tabel 4.10. Perhitungan Konversi Gelombang

U_L	U_L	R_t	R_L	U_w	U_A			
knots	m / s			m / s	m / s	$F_{eff} (m)$	$H_0 (m)$	$T_0 (s)$
4	2,06	1	1,69	3,48	3,29	271462	2,00	5,74
7	3,61	1	1,53	5,52	5,80		1,54	6,92
11	5,67	1	1,33	7,51	8,47		2,26	7,84
17	8,76	1	1,18	10,29	12,48		3,33	8,91
						Σ	9,13	29,41

		H_{0 1/3(m)} = 1,42 x Hrms		
n x H₀² (m)		Hrms	H_{0 1/3(m)}	n x T₀² (s)
1344,00		0,86	1,22	11074,00
522,61				10486,77
336,10				4058,60
0,00				0,00
858,72				25619,37
Hrms	1,38		T _{rms}	4,34
			T _{0 1/3(m)}	6,14

Dari perhitungan diatas didapatkan harga Hrms, $H_{01/3}$ dan Trms, $T_{01/3}$ untuk arah angin dominan yakni barat. Selanjutnya dilakukan perhitungan yang sama untuk

menemukan tinggi gelombang signifikan dan periode gelombang signifikan pada bulan selanjutnya. Perhitungan Hs dan Ts selanjutnya digunakan untuk menghitung daya *output* dari OWC yang telah dilakukan perbandingan diameter.

Tabel 4.11. Hs dan Ts utara Pulau Bawean Periode 2008 – 2012

Bulan	Hs (meter)	Ts (detik)
Januari	1,22	6,14
Februari	1,12	5,88
Maret	0,50	4,56
April	0,50	5,76
Mei	0,80	5,79
Juni	1,08	5,74
Juli	1,16	5,78
Agustus	1,21	5,81
September	0,97	5,66
Oktober	0,69	5,30
November	0,40	5,38
Desember	0,77	5,80

Pada tugas akhir ini menggunakan perbandingan diameter kolom OWC. OWC yang digunakan adalah *fixed* dengan kedalaman yang direncanakan 6 m. Sehingga berdasarkan data – data OWC yang sudah pernah diinstal, diambil OWC yang pernah diinstal di Trivandrum, India dengan diameter kolom 8m. Dari data itulah penulis melakukan perhitungan daya dengan memvariasi diameter kolom, sehingga akan mendapatkan daya keluaran OWC yang disesuaikan dengan kebutuhan listrik.

4.5 Daya Hasil Perbandingan Diameter Kolom

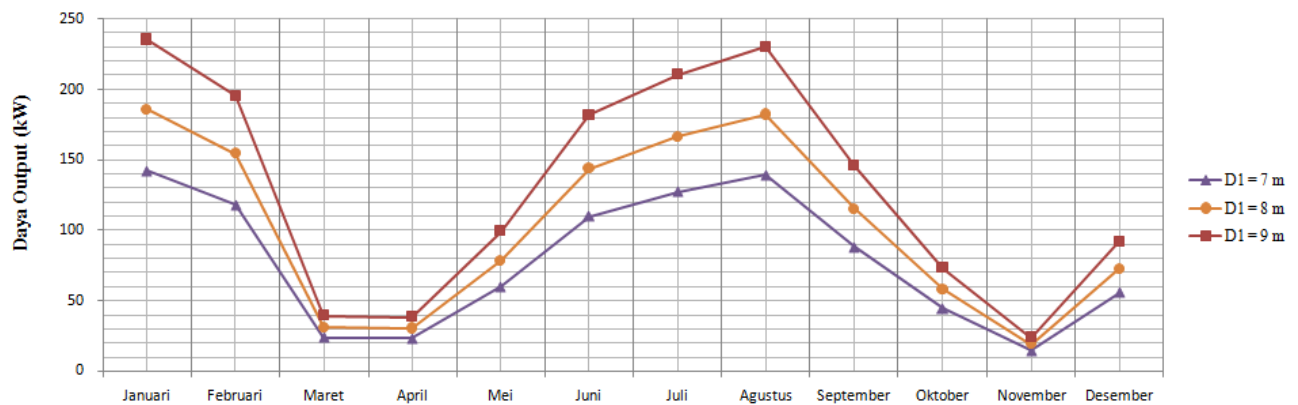
Perhitungan daya yang keluar pada sistem OWC *fixed* ini menggunakan persamaan Bernaulli. Beberapa parameter yang digunakan untuk menghitung daya OWC adalah tekanan udara pada orifice, kecepatan aliran udara pada kolom dan area pada kolom. Perhitungan daya dengan variasi diameter kolom yang berbeda sangat mempengaruhi daya *output* pada OWC. Variasi diameter kolom yang digunakan adalah 7 m , 8 m dan 9 m. Untuk perhitungan daya dapat

diselesaikan dengan persamaan (2.12) hingga (2.19). Hasil perhitungan daya dengan melakukan variasi diameter kolom ditampilkan pada Tabel 4.12 dibawah ini.

Tabel 4.12. Daya OWC dengan Variasi Diameter Kolom (D_1)

Bulan	Daya $D_1 = 7\text{m}$ (watt)	Daya $D_1 = 8\text{m}$ (watt)	Daya $D_1 = 9\text{m}$ (watt)
Januari	142543,35	186103,02	235494,08
Februari	118361,89	154519,42	195521,51
Maret	23930,15	31182,03	39425,03
April	23311,43	30373,93	38402,30
Mei	60138,70	78473,87	99277,61
Juni	110127,44	143764,37	181909,79
Juli	127548,42	166518,02	210707,07
Agustus	139600,44	182259,27	230629,37
September	88284,35	115234,98	145802,74
Oktober	44411,40	57932,46	73280,32
November	14582,91	18973,75	23974,36
Desember	55673,15	72641,41	91896,02
Rata – rata	79042,80	103164,71	130526,68

Dari perhitungan daya diatas menunjukkan bahwa semakin besar diameter kolom yang digunakan, maka semakin besar pula daya yang dihasilkan. Pada variasi diameter kolom 7 m daya maksimum yang dihasilkan sebesar 142543,35 Watt pada bulan Januari dan daya minimum sebesar 14582,91 Watt pada bulan November. Untuk variasi diameter kolom 8 m daya maksimum sebesar 186103,02 Watt pada bulan Januari dan minimum sebesar 18973,75 Watt pada bulan November. Variasi diameter selanjutnya 9 m dengan daya maksimum yang dihasilkan sebesar 235494,08 Watt dan minimum sebesar 23974,36 Watt pada bulan November. Daya maksimum selalu terjadi pada bulan Januari, karena tinggi gelombang signifikan pada bulan tersebut lebih tinggi dibandingkan dengan bulan – bulan lainnya. Sama halnya dengan daya minimum yang selalu terjadi pada bulan November yang memiliki tinggi gelombang signifikan yang paling rendah.



Gambar 4.14.Daya OWC dengan Variasi Diameter Kolom (D_1)

Untuk mendapatkan daya bersih dari OWC dapat dihitung dengan menggunakan perkalian efisiensi generator OWC. Efisiensi generator diasumsikan sebesar 0,9 , maka rata – rata daya bersih yang dihasilkan oleh OWC dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.13. Daya Bersih Rata – Rata OWC

keterangan	D1 = 7 m	D 1 = 8 m	D1 = 9 m
Daya rata – rata (kW)	79,04	103,16	130,53
Daya bersih rata - rata (kW)	71,14	92,85	119,78

Tabel 4.13 adalah hasil dari perhitungan perkiraan daya listrik yang dibangkitkan. Pemilihan diameter kolom dapat dilihat dari segi ekonominya dari masing – masing variasi yang diasumsi. Untuk memenuhi kebutuhan sebesar 216,9 kW maka dilakukan perbandingan dengan empat buah OWC dengan diameter 7m atau tiga buah OWC diameter 8m atau dua buah OWC diameter 9m.

4.6 Analisa Biaya

Perencanaan biaya pada instalasi OWC di utara Pulau Bawean ini disusun berdasarkan data harga yang didapatkan melalui beberapa sumber seperti internet dan kepada narasumber yang terkait secara langsung. Penyusunan perencanaan biaya ini, disusun berdasarkan standar pengerjaan di buku Costans mengenai analisis biaya instalasi OWC.

Analisa biaya ini dilakukan untuk mengetahui tingkat ekonomisnya dari masing – masing variasi D₁. Berikut penyusunan perencanaan biaya berdasarkan metode yang ada dalam buku Constans (1979) .

- A. Biaya Instalasi (*fixed cost*)
 - a. Biaya struktur EWC
 - b. Biaya perlengkapan daya
 - Generator
 - Turbin
 - c. Biaya transmisi
 - Kabel laut
 - Perlengkapan terminal pantai
 - Perlengkapan jaringan listrik di darat
 - d. Biaya total instalasi
 - e. Biaya rata – rata per kW
 - f. Biaya tahunan (*variabel cost*)
 - Modal 15% (*life time* untuk 15 tahun)
 - Biaya perbaikan dan perawatan
 - Biaya operator
 - Biaya administrasi
 - g. Biaya per kWh

biaya produksi per kWh = $\frac{\text{Total biaya tahunan}}{\text{Energi yang dihasilkan dalam 1 tahun}}$.

Tabel 4.14. Perencanaan Biaya Instalasi OWC Diameter 7 m di Pulau Bawean

Biaya Instalasi (*Fixed cost*)

Elemen Biaya	
Keterangan	Harga
1. Biaya Struktur	
Berat total dari 4 desain @20,72 ton (perhitungan di lampiran D)	
a. 82,90 ton baja @Rp 50.000.000 (<i>catalog - stellindonesia.co.id</i>)	4.045.000.000
b. 8 Pile struktur @Rp 10.000.000	80.000.000
c. Pemasangan Pile struktur	303.300.000
2. Peralatan Penghasil Daya :	
a. 4 unit Turbin @Rp 70.000.000 (<i>turbinhidro.com</i>)	280.000.000
b. 4 unit generator @55.000.000	220.000.000
3. Biaya Transmisi (<i>wave converter</i> diletakkan 600 m dari bibir pantai)	
a. Kabel bawah laut (submarine) US 0.5 - 5/m	30.000.000
b. Pemasangan kabel bawah laut	87.500.000
c. Perlengkapan terminal pantai	105.000.000
4. Biaya Distribusi Listrik	
a. Pemasangan Perlengkapan Distribusi	75.000.000
b. Biaya kabel JTM Rp. 125.000 @250m (990m)	4.950.000
c. Pemasangan kabel JTM	50.000.000
5. Perencanaan dan Perizinan asumsi 10% (total dari poin 1 – 4)	528.075.000
Total biaya instalasi 284 kW	5.808.825.000
Biaya rata - rata per kW	23.235.300

Biaya Tahunan (*Variabel cost*)

Elemen Biaya	
Keterangan	Harga
Biaya Tahunan	
1. Cicilan pembayaran hutang modal 15% (<i>life time 15 years</i>)	871.323.750
2. Perawatan asumsi 20% dari investasi pertahun	174.264.750
3. Tenaga Kerja	
a. 1 kepala @ 6.000.000 x 12	72.000.000
b. 3 teknisi @ Rp 3.500.000 x 12	126.000.000
c. 6 staff @ Rp 4.000.000 x 12	288.000.000
4. Operasional	65.000.000
Total Biaya Tahunan	1.596.588.500
5. Diasumsikan <i>wave converter</i> beroperasi selama 3942 jam CF=45%	
a. Power yang dihasilkan : 3942 x 284 kW	1.119.528
b. Biaya per kWh (total biaya tahunan / total energi yang diproduksi)	1426,13

Biaya instalasi empat OWC dengan D_1 kolom 7 m sebesar Rp 5.808.825.000 dengan total biaya tahunan sebesar Rp 871.323.750 sehingga mendapatkan harga produksi listrik sebesar Rp 1.426,13 .

Tabel 4.15. Perencanaan Biaya Instalasi OWC Diameter 8m di Pulau Bawean

Biaya Instalasi (*Fixed cost*)

Elemen Biaya	
Keterangan	Harga
1. Biaya Struktur	
Berat total dari 3 desain @24,72 ton (perhitungan di lampiran D)	
a. 74,18 ton baja @Rp 50.000.000 (<i>catalog</i> - stellindonesia.co.id)	3.709.000.000
b. 6 Pile struktur @Rp 10.000.000	60.000.000
c. Pemasangan Pile struktur	303.300.000
2. Peralatan Penghasil Daya :	
a. 3 unit Turbin @Rp 70.000.000 (<i>turbinhidro.com</i>)	210.000.000
b. 3 unit generator @55.000.000	165.000.000
3. Biaya Transmisi (<i>wave converter</i> diletakkan 600 m dari bibir pantai)	
a. Kabel bawah laut (submarine) US 0.5 - 5/m	30.000.000
b. Pemasangan kabel bawah laut	87.500.000
c. Perlengkapan terminal pantai	105.000.000
4. Biaya Distribusi Listrik	
a. Pemasangan Perlengkapan Distribusi	75.000.000
b. Biaya kabel JTM Rp. 125.000 @250m (990m)	4.950.000
c. Pemasangan kabel JTM	50.000.000
5. Perencanaan dan Perizinan asumsi 10% dari total biaya instalasi	479.975.000
Total biaya instalasi 276 kW	5.279.725.000
Biaya rata - rata per kW	21,998,854

Biaya Tahunan (*Variabel cost*)

Elemen Biaya	
Keterangan	Harga
Biaya Tahunan	
1. Cicilan pembayaran hutang modal 15% (<i>life time 15 years</i>)	791.958.750
2. Perawatan asumsi 20% dari investasi pertahun	158.391.750
3. Tenaga Kerja	
a. 1 kepala @ 6.000.000 x 12	72.000.000
b. 3 teknisi @ Rp 3.500.000 x 12	126.000.000
c. 6 staff @ Rp 4.000.000 x 12	288.000.000
4. Operasional	65.000.000
Total Biaya Tahunan	1.501.350.500
5. Diasumsikan <i>wave converter</i> beroperasi selama 3942 jam CF=45%	
a. Power yang dihasilkan : 3942 x 276 kW	1.087.992
b. Biaya per kWh (total biaya tahunan / total energi yang diproduksi)	1379,93

Biaya instalasi tiga OWC dengan D₁ kolom 8m sebesar Rp 5.279.725.000 dengan total biaya tahunan sebesar Rp 791.958.750 sehingga mendapatkan harga produksi listrik sebesar Rp 1.379,93 .

Tabel 4.16. Perencanaan Biaya Instalasi OWC Diameter 9 m di Pulau BaweanBiaya Instalasi (*Fixed cost*)

Elemen Biaya	
Keterangan	Harga
1. Biaya Struktur	
Berat total dari 2 desain @27,48 ton (perhitungan di lampiran D)	
a. 54,95 ton baja @Rp 50.000.000 (<i>catalog - stellindonesia.co.id</i>)	2.747.500.000
b. 6 Pile struktur @Rp 10.000.000	60.000.000
c. Pemasangan Pile struktur	303.300.000
2. Peralatan Penghasil Daya :	
a. 2 unit Turbin @Rp 70.000.000 (<i>turbinhidro.com</i>)	140.000.000
b. 2 unit generator @55.000.000	110.000.000
3. Biaya Transmisi (<i>wave converter</i> diletakkan 600 m dari bibir pantai)	
a. Kabel bawah laut (submarine) US 0.5 - 5/m	30.000.000
b. Pemasangan kabel bawah laut	87.500.000
c. Perlengkapan terminal pantai	105.000.000
4. Biaya Distribusi Listrik	
a. Pemasangan Perlengkapan Distribusi	75.000.000
b. Biaya kabel JTM Rp. 125.000 @250m (990m)	4.950.000
c. Pemasangan kabel JTM	50.000.000
5. Perencanaan dan Perizinan asumsi 10% dari total biaya instalasi	371.325.000
Total biaya instalasi 240 kW	4.084.575.000
Biaya rata - rata per kW	20.321.269

Biaya Tahunan (*Variabel cost*)

Elemen Biaya	
Keterangan	Harga
Biaya Tahunan	
1. Cicilan pembayaran hutang modal 15% (<i>life time 15 years</i>)	612.686.250
2. Perawatan asumsi 20% dari investasi pertahun	122.537.250
3. Tenaga Kerja	
a. 1 kepala @ 6.000.000 x 12	72.000.000
b. 3 teknisi @ Rp 3.500.000 x 12	126.000.000
c. 6 staff @ Rp 4.000.000 x 12	288.000.000
4. Operasional	65.000.000
Total Biaya Tahunan	1.286.223.500
5. Diasumsikan <i>wave converter</i> beroperasi selama 3942 jam CF=45%	
a. Power yang dihasilkan : 3942 x 240 kW	1.087.992
b. Biaya per kWh (total biaya tahunan / total energi yang diproduksi)	1182,2

Sedangkan untuk biaya instalasi dua OWC dengan D_1 kolom 9m sebesar Rp 4.084.575.000 dengan total biaya tahunan sebesar Rp 612.686.250 sehingga mendapatkan harga produksi listrik sebesar Rp 1.182,2 .

Rincian perhitungan pemasangan pile dan pemasangan kabel bawah laut dapat dilihat pada tabel 4.17 dan 4.18 dibawah ini :

Tabel 4.17 Rincian Rencana Biaya Pemasangan Pile

1c. Harga satuan pemasangan pile

No	Uraian	sat	Vol	Harga	Jumlah
	Upah :				
1	Operator dan alat pancang	orang	3	150.000	450.000
2	Pekerja	orang	8	80.000	640.000
3	Mandor	orang	1	100.000	100.000
	Alat :				
4	Ponton Pancang	hari	1	2.000.000	2.000.000
5	Crane	hari	1	1.000.000	1.000.000
6	Diesel Hammer	hari	1	1.350.000	1.350.000
7	Tug Boat	hari	0.5	2.300.000	1.150.000
8	Dll	hari	1	50.000	50.000
Biaya alat dan upah perhari					6.740.000

Beberapa parameter untuk penyusunan biaya pemasangan pile terdiri dari upah operasional dan juga alat yang digunakan. Dengan menggunakan harga asumsi yang didapat melalui beberapa sumber didapatkan biaya untuk alat dan upah pekerja sebesar Rp 6.740.000,- perhari . Maka dengan asumsi pengerjaan pemasangan pile selama 45 hari masa kerja, biaya yang dikeluarkan sebesar Rp 303.300.000,-

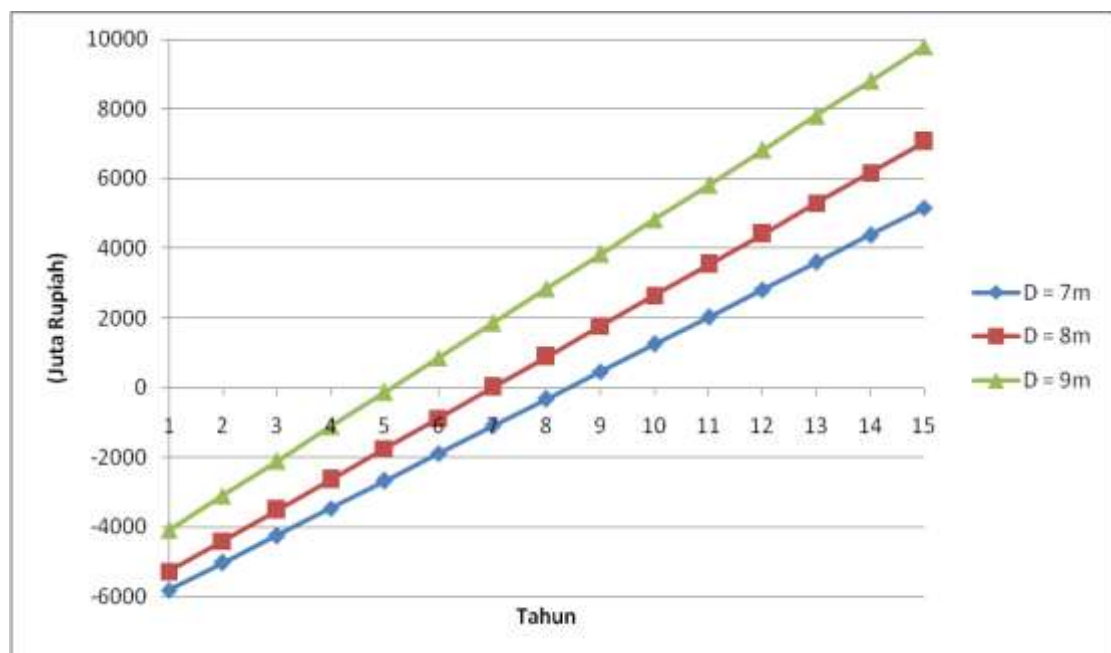
Tabel 4.18. Rincian Rencana Pemasangan Kabel Bawah Laut

3b. Pemasangan kabel bawah laut

No	Uraian	sat	Vol	harga	Jumlah
	Upah :				
1	Operator	orang	2	100.000	200.000
2	Pekerja	orang	5	55.000	275.000
3	Mandor	orang	1	75.000	75.000
	Alat :				
7	Tug Boat	hari	0.5	2.300.000	1.150.000
8	Dll	hari	1	50.000	50.000
Biaya alat dan upah perhari					1.750.000

Perencanaan pemasangan kabel diasumsikan masa kerja selama 50 hari, dengan biaya perhari yang didapatkan sebesar Rp 1.750.000,- . Maka besarnya biaya yang dianggarkan pada pemasangan kabel bawah laut sebesar Rp 87.500.000,- .

Pada umumnya harga jual listrik untuk masing – masing pembangkit listrik berbeda – beda. Asumsi pembangkit listrik tenaga geotermal memiliki harga jual listrik sekitar Rp 1.336 – Rp 1.701, sedangkan untuk pembangkit listrik mikrohidro memiliki harga jual sekitar Rp 972 - Rp 1.215 . Untuk menghitung pendapatan penjualan listrik, diasumsikan harga jual listrik pembangkit listrik tenaga gelombang sebesar Rp 1.500/kWh. Pendapatan yang didapatkan selama setahun jika asumsi harga jual listrik Rp 1.500,- sebesar Rp 2.850.066.000 . Berikut adalah grafik hasil *cash flow* yang dilampirkan dari masing – masing variasi D_1 OWC.



Gambar 4.15 Grafik perbandingan ekonomi variasi D_1 OWC

Pada Gambar diatas menunjukkan bahwa instalasi dua buah OWC $D_1 = 9$ m memiliki keuntungan yang lebih tinggi di sisi ekonomi dibandingkan dengan kedua variasi D_1 lainnya. Dengan masing – masing IRR yang didapat, untuk $D_1 9 = 19\%$, $D_1 8 \text{ m} = 6\%$ dan $D_1 9 \text{ m} = -2\%$. BEP (*break even point*) pada instalasi OWC D_1

= 9m terjadi pada peralihan tahun kelima dan tahun keenam. Maka dari hasil perhitungan ekonomi diatas dipilih instalasi OWC dengan $D_1 = 9 \text{ m}$.

4.7 Perencanaan Jaringan Transmisi

Dalam perencanaan jaringan transmisi tegangan trafo yang digunakan adalah 20kV. Pada penjelasan sebelumnya, umumnya untuk jaringan transmisi menengah PLN menggunakan tegangan trafo 20kV. Maka untuk melakukan suatu perencanaan transmisi perlunya perhitungan berapa daya bersih yang masuk dan keluar dari trafo dan juga nilai efisiensi pada trafo tersebut.

Diketahui :

$$\rho_{\text{tembaga}} = 0,0175 \Omega \text{ mm/m}^2 \text{ (Tabel 2.1)}$$

$$\text{Jarak trafo 1 – 2} = 3600 \text{ m (peta)}$$

$$\text{Jarak trafo 2 – 3} = 1400 \text{ m (peta)}$$

$$\text{Jarak trafo 3 – 4} = 3200 \text{ m (peta)}$$

$$\text{Jarak trafo 4 – 5} = 1700 \text{ m (peta)}$$

Untuk memenuhi kebutuhan listrik sebesar 216900 Watt atau 216,9 kiloWatt di Kecamatan Tambak, maka dibutuhkan paling tidak dua unit pembangkit listrik yang diaplikasikan di wilayah ini. Total daya yang dihasilkan dari empat OWC dengan $D_1 = 9\text{m}$ adalah sebesar 240000 Watt atau setara dengan 240 kiloWatt.

4.7.1 Perhitungan Trafo

Daya trafo 1 merupakan hasil output dari ke dua pembangkit listrik, untuk menghitung daya trafo 1 yang keluar menuju trafo 2 Promaan perlu dilakukannya perhitungan efisiensi pada trafo 1. Dimana efisiensi trafo tidak selalu 100% melainkan 98%.

$$\eta = \frac{P_{1\text{out}} \times 100\%}{P_{1\text{in}}}$$

$$\begin{aligned}
 P_{1out} &= \frac{\eta \times P_{1in}}{100\%} \\
 &= \frac{98\% \times 239560}{100\%} \\
 &= 234768,8 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

Jadi daya yang akan keluar dari trafo 1 menuju ke trafo 2 Promaan sebesar 234768,8 Watt. Untuk mengetahui transmisi perlunya perhitungan daya *input* dan *output* pada trafo. Seperti pada persamaan sebelumnya, dilakukan perhitungan arus, resistensi untuk mengetahui *losses cable* yang terjadi. Perhitungan trafo 2 Promaan dijabarkan dibawah ini.

Menghitung arus yang masuk ke trafo 2 Promaan dari trafo 1 dengan persamaan (2.20)

$$\begin{aligned}
 P &= 3 \times V \times I \times \cos \phi \\
 I_{\text{promaan}} &= \frac{P}{3 \times V \times \cos \phi} \\
 &= \frac{234768,8}{3 \times 2000 \times 8} \\
 &= 4,9 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Karena didapatkan arus sebesar 4,9 A, maka untuk pemilihan kabel dapat dilihat dari data ukuran penampang kabel (Tabel 2.2). Maka penampang kabel yang cocok yakni 1 mm dengan kriteria pengaman hingga 6 A. Setelah mengetahui luas penampang pada kabel, perhitungan resistensi pada persamaan (2.23), dilakukan untuk mengetahui *losses cable* yang terjadi dari trafo 1 ke trafo 2 Promaan. Sehingga akan mendapatkan daya murni yang masuk ke trafo 2 Promaan.

$$\begin{aligned}
 \text{Resistensi} &= \frac{\rho \times l}{A} \\
 &= \frac{0,0175 \times 3600}{1} \\
 &= 63,144 \Omega
 \end{aligned}$$

Perhitungan *losses cable* dari trafo 1 ke trafo 2 dengan persamaan awal (2.22).

$$\begin{aligned}
 P_{2in\ losses} &= 3 \times I^2 \times R \times \cos \phi \\
 &= 3 \times 4,9^2 \times 63,144 \times 0,8 \\
 &= 3625,28 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

Jadi daya murni yang masuk ke trafo 2 setelah perhitungan *losses* kabel adalah sebesar:

$$\begin{aligned}
 P_{2in\ Promaan} &= P_{1out} - P_{2in\ losses} \\
 &= 259092,40 - 3625,28 \\
 &= 231143,52 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan daya yang keluar dari trafo 2 Promaan ke trafo 3 Tanjung Ori dilakukan perhitungan efisiensi trafo. Dimana efisiensi trafo tidak dapat maksimal 100% melainkan 98%.

$$\begin{aligned}
 \eta_{trafo2} &= P_{2in\ Promaan} \times 98\% \\
 &= 231143,52 \times 98\% \\
 &= 226520,65 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

Pada trafo 2 akan disalurkan ke gardu penduduk Promaan dengan kebutuhan daya sebesar 40500 Watt, maka sisa daya yang akan disalurkan ke trafo 3 Tanjung Ori sebesar :

$$\begin{aligned}
 P_{2out\ Promaan} &= \eta_{trafo2} - 40500 \text{ watt} \\
 &= 226520,65 - 40500 \\
 &= 186020,65 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

Pada perhitungan diatas didapatkan hasil daya yang masuk pada trafo 2 Promaan setelah melakukan perhitungan resistensi dan *losses cable* sebesar 231143,52 Watt. Sedangkan daya yang akan ke luar ke trafo 3 Tanjung Ori setelah melakukan perhitungan efisiensi pada trafo 2 dan daya yang akan disalurkan ke

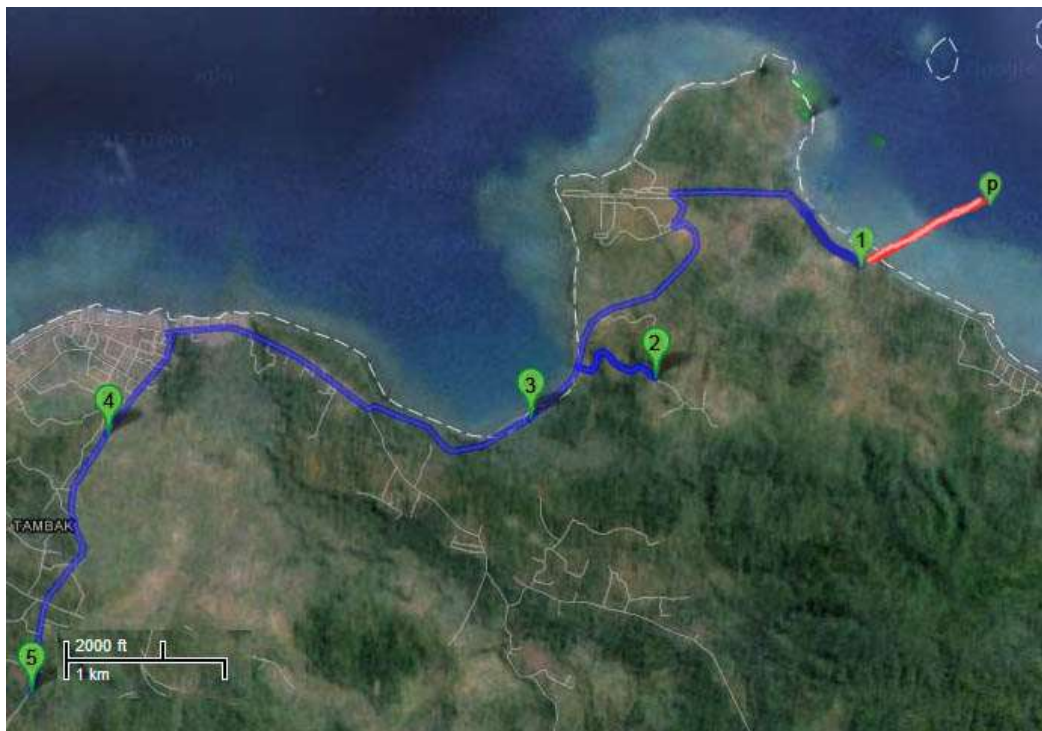
gardu 2 sebesar 186020,65 Watt. Perhitungan transmisi dilakukan hingga trafo 5 Gelam, untuk memudahkan dalam perencanaan jaringan transmisi selanjutnya. Perhitungan transmisi dapat dilihat pada Tabel 4.19 dibawah ini.

Tabel 4.19 Perhitungan Sistem Transmisi

Trafo	Arus (I) (Ampere)	A (mm)	R (Resistensi) (ohm)	losses cabel (Watt)	Prosentase losses cable(%)	Daya input (watt)	Efisiensi trafo (%)	Daya Output (Watt)
[2]	4,89	1	63,14	3625,28	0,015	231143,52	226520,65	186020,65
[3]	3,88	1	24,56	885,13	0,005	185135,52	181432,81	118432,81
[4]	2,47	1	56,13	820,07	0,007	117612,73	115260,48	73860,48
[5]	1,54	1	29,82	169,45	0,002	73691,03	72217,21	217,21

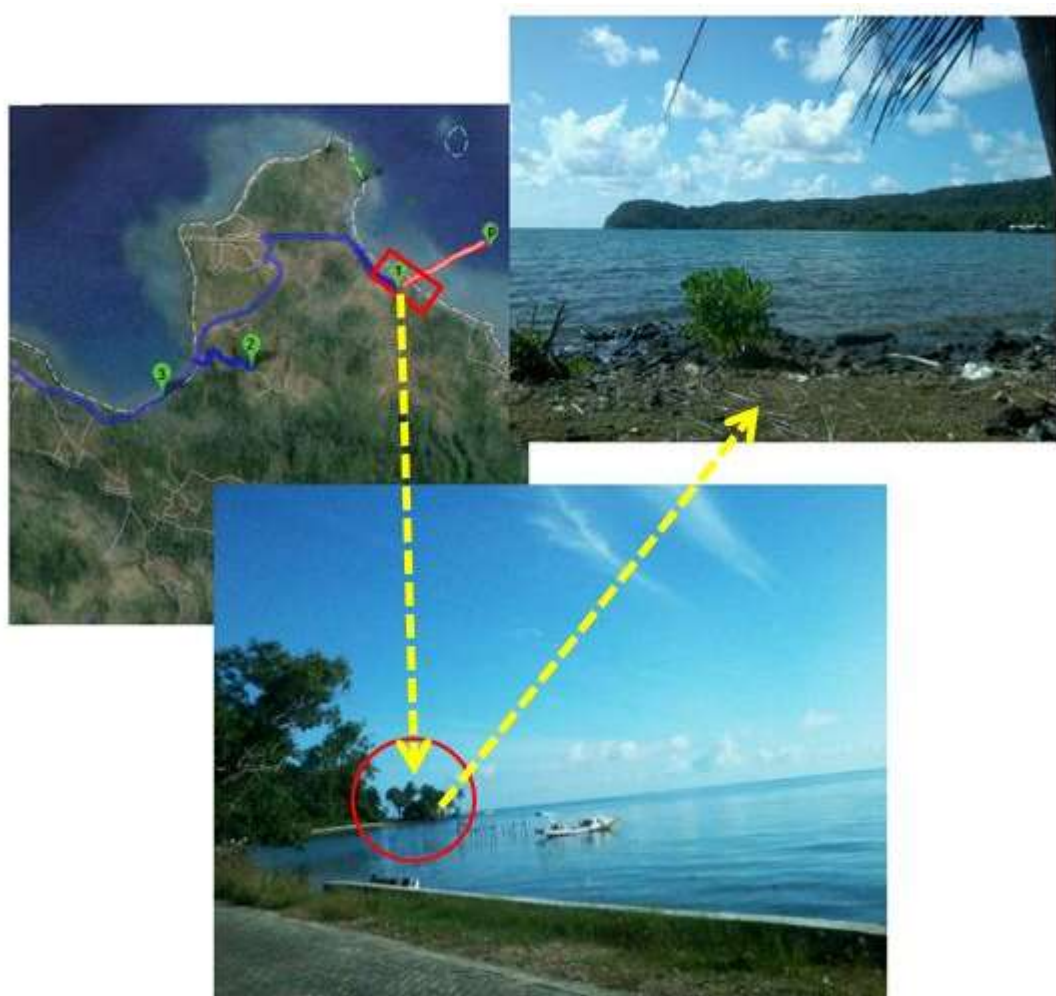
4.8 Peta Jaringan Transmisi

Setelah mengetahui daya yang di hasilkan tiap - tiap trafo, maka selanjutnya melakukan pemetaan jaringan transmisi. Dimanaterdapat 5 trafo yang akan digunakan untuk menyalurkan listrik di 4 daerah.



Gambar 4.16. Perencanaan jalur transmisi 20kV

Pada Gambar 4.16 dapat dilihat perencanaan jalur transmisi di 4 desa, yakni pada simbol 2 menunjukkan trafo Desa Promaan, symbol 3 menunjukkan trafo Desa Tanjung Ori , simbol 4 menunjukkan trafo Desa Pekalongan dan simbol 5 menunjukkan trafo Desa Gelam. Dimana simbol 1 pada peta menunjukkan trafo 1 yang merupakan Gardu induk dari OWC yang terletak di Desa Diponggo. Simbol P merupakan letak dari PLTGL tipe OWC yang direncanakan. Letak dari PLTGL menuju ke gardu induk berjarak 600 m yang ditentukan dari penelitian sebelumnya. Pada jalur transmisi yang direncanakan merupakan jalur lingkaran luar utara Pulau Bawean. Untuk pemilihan lokasi PLTGL di utara memiliki beberapa kelebihan, diantara lain adalah lahan yang sudah tersedia untuk pembangunan dan juga area tersebut dekat dengan jalur lingkaran utara Bawean.



Gambar 4.17. Perencanaan Lokasi Penempatan PLTGL (*Dok. Survey*)



Gambar 4.18. Peta Perencanaan Transmisi 20KV

4.9 Analisa Teknis

4.9.1 Lokasi

Pada penelitian sebelumnya (Hadian, 2014) lokasi penempatan PLTGL yang dipilih adalah utara Pulau Bawean. Lokasi ini terletak di Kecamatan Tambak, Desa Diponggo. Beberapa parameter yang digunakan untuk pemilihan lokasi ini diantaranya infrastruktur disekitar lokasi dan juga jangkauan distribusi listrik dari pembangkit menuju wilayah yang termasuk dalam daftar perencanaan pengaliran listrik. Dalam segi infrastruktur lokasi ini cukup memadai untuk dilakukannya pembangunan PLTGL. Jarak dari lokasi penempatan terminal pantai dengan jalur lingkaran Bawean sekitar 15 meter. Kondisi akses jalan lingkaran Bawean juga sudah berpaving dengan lebar jalan sekitar dua meter.



Gambar 4.19. Akses Jalan Lingkar Bawean dan Lokasi Penempatan GI

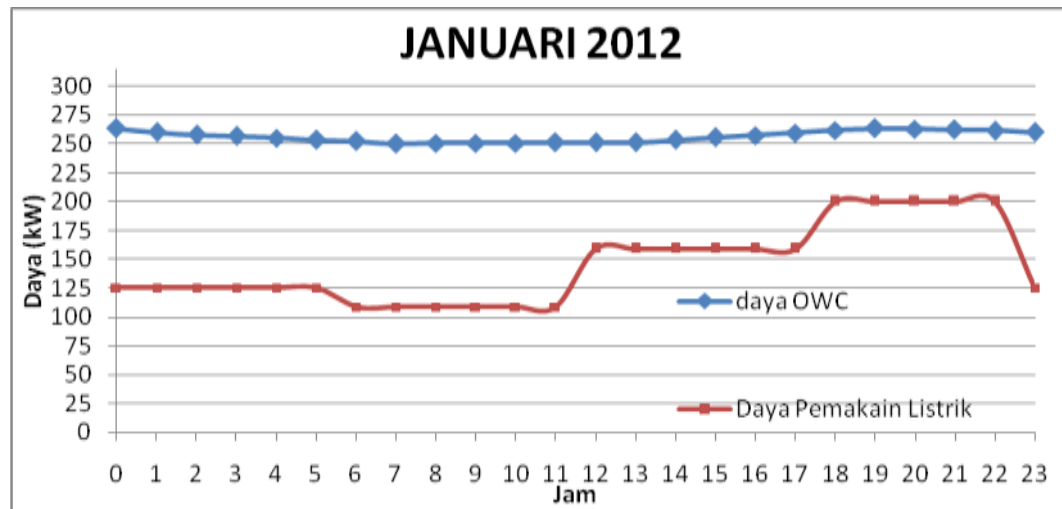
(Dok. Survey)

4.9.2 Kelistrikan

PLTGL merupakan pembangkit listrik yang bergantung pada ada tidaknya gelombang yang terjadi dan tidak bersifat dinamis atau berubah – ubah tiap waktu. Pada perencanaan transmisi dan distribusi energi listrik sangat dibutuhkan untuk menstabilkan penyuplaian listrik ke beban. Penyuplain listrik dari pusat pembangkit menuju beban dibutuhkan sistem *coupling*. Sistem coupling berguna untuk memperlancar jalannya penyaluran energi listrik menuju beban, dengan kualitas penyaluran energi listrik yang memenuhi standar. Pada tugas akhir ini untuk menyuplai listrik ke beban tidak sepenuhnya menggunakan PLTGL saja, melainkan dengan bantuan pasokan listrik dari PLTD. Dengan beroperasinya lebih dari satu mesin, maka diperlukan peranan pengontrolan yang lebih baik.

Sistem *coupling* yang sering digunakan oleh PT.PLN yaitu *power line carrier* (PLC). *Power line carrier* digunakan untuk keperluan telepon dan koordinasi jaringan listrik antar pembangkit dan pusat pengatur beban . PLC dapat berjalan secara otomatis, bila salah satu pembangkit mengalami suatu gangguan atau

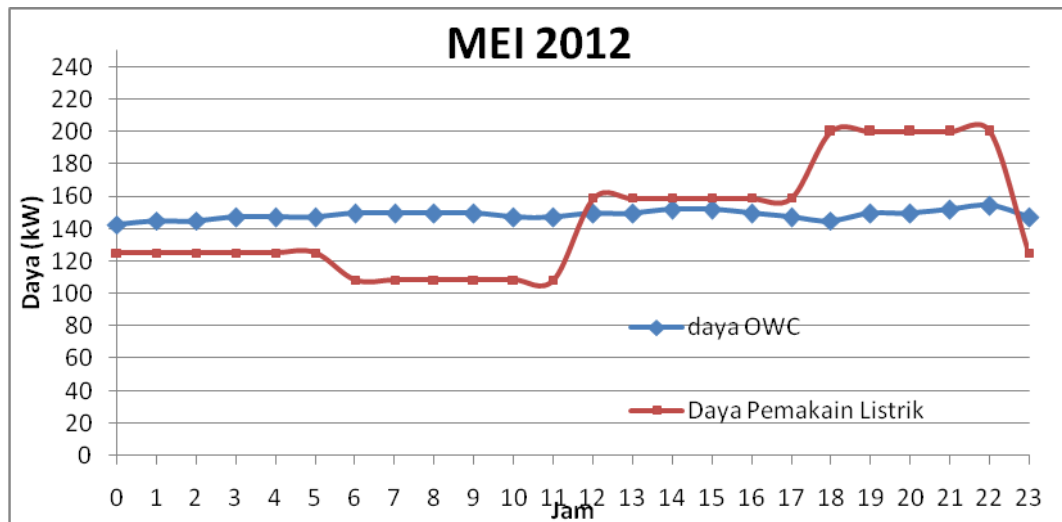
terjadi defisit daya maka pembangkit lain akan aktif secara sendiri untuk menyalurkan energi listrik.



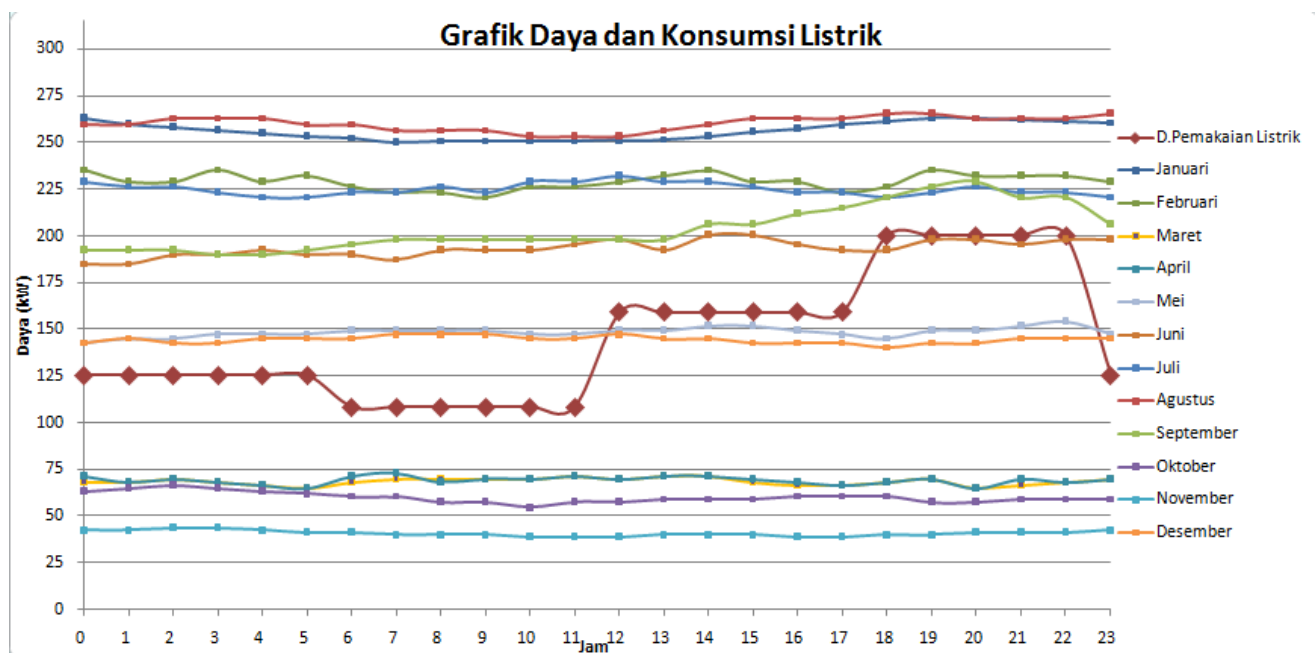
Gambar 4.20. Grafik Asumsi Konsumsi Listrik 24 Jam dengan Daya Pembangkit pada Bulan Januari 2012.

Pada gambar 4.20 menggambarkan bagaimana konsumsi listrik yang digunakan selama 24 jam pada bulan Januari 2012 dengan daya listrik yang dihasilkan oleh pembangkitan (PLTGL). Pada pagi hari penggunaan listrik relatif lebih rendah, karena penggunaan listrik yang minim di pagi hari. Pemakain listrik yang signifikan terjadi pada malam hari sekitar pukul 17:00 hingga 22:00, dimana aktifitas dalam rumah lebih tinggi menyebabkan penggunaan listrik meningkat. Pada grafik dapat dilihat bahwa daya yang dihasilkan oleh PLTGL dapat memenuhi kebutuhan selama 24 jam tanpa suplay dari PLTD.

Berbeda dengan yang terjadi pada bulan Mei, dimana terjadi defisit pasokan listrik dari PLTGL yang terjadi pada siang hari hingga menjelang malan hari seperti yang terlihat pada gambar 4.21. Tingginya pemakaian listrik pada saat itu tidak dapat diimbangi dengan daya yang dihasilkan dari PLTGL. Defisit daya yang terjadi sekitar 45% oleh PLTGL ini dapat dipenuhi dari pasokan listrik yang dihasilkan PLTD dengan menggunakan sistem *coupling*. Maka listrik yang disalurkan dari pembangkitan menuju ke beban dapat berjalan lancar tanpa perlu mengalami pemadaman listrik.



Gambar 4.21. Grafik Asumsi Konsumsi Listrik 24 Jam dengan Daya Pembangkit pada Bulan Mei 2012.



Gambar 4.22 Perbandingan Daya yang dikeluarkan dengan Asumsi Konsumsi Listrik Tahun 2012.

Pada gambar 4.22 menunjukkan perbandingan antara daya yang dihasilkan OWC dengan konsumsi listrik selama satu tahun. Dapat dilihat pada grafik, OWC dapat memenuhi kebutuhan listrik secara penuh hanya pada bulan Januari, Februari, Juli, Agustus, dan September. Untuk bulan Mei, Juni dan Desember terjadi defisit daya PLTGL sekitar 40%. Penggunaan baterai untuk penyimpanan energi listrik

pada bulan Januari, Februari, Juli, Agustus dan September sehingga membutuhkan suplai listrik dari PLTD dengan menggunakan sistem *coupling*. Defisit daya PLTGL terjadi pada malam hari karena aktivitas pemakaian listrik meningkat pada jam tersebut. Sedangkan pada bulan Maret, April, Oktober dan November daya yang dihasilkan OWC tidak bisa memenuhi kebutuhan listrik dikarenakan gelombang yang terjadi pada bulan tersebut kecil. Maka dari itu dibutuhkan tambahan suplai listrik dari PLTD selama 24jam.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Berdasarkan variasi yang dilakukan maka perbandingan diameter kolom OWC yang sesuai di install di utara perairan Pulau Bawean dari perbandingan ekonominya adalah OWC dengan diameter kolom 9 dengan jumlah dua buah OWC dengan total daya yang dihasilkan sebesar 240 kW.
2. Jaringan transmisi yang digunakan adalah Jaringan Tegangan Menengah 20kV. Dengan perhitungan *losses cable*, daya masuk dan daya keluar dari masing – masing trafo.

Trafo	Arus (I) (Ampere)	A (mm)	R (Resistensi) (ohm)	<i>losses cabel</i> (Watt)	Prosentase <i>losses cabel</i> (%)	Daya input (watt)	Efisiensi trafo (%)	Daya Output (Watt)
[2]	4,89	1	63,14	3625,28	0,015	231143,52	226520,65	186020,65
[3]	3,88	1	24,56	885,13	0,005	185135,52	181432,81	118432,81
[4]	2,47	1	56,13	820,07	0,007	117612,73	115260,48	73860,48
[5]	1,54	1	29,82	169,45	0,002	73691,03	72217,21	217,21

3. Pembangunan PLTGL layak dilakukan di Pulau Bawean. Dari segi ekonomi, harga produksi listrik dari OWC D₁ 9 m di Pulau Bawean adalah Rp 1182,2, dengan IRR sebesar 19% . Pada segi infrastruktur lokasi ini cukup memadai untuk dilakukannya pembangunan PLTGL. PLTGL dapat bekerja 45% selama jangka waktu satu tahun.

5.2 Saran

1. Dibutuhkan penelitian lebih lanjut mengenai perhitungan gelombang dari laut dalam menuju kearah pantai akibat dari batimetri.
2. Dibutuhkan kajian lebih lanjut tentang perhitungan tinggi gelombang, dimana pada penelitian ini membutuhkan perhitungan ketinggian gelombang sesaat atau ketinggian gelombang yang terjadi pada waktu itu, agar perhitungan daya yang dihasilkan bersifat realistis.
3. Penelitian dilanjutkan sampai mendesain turbin dan generatornya agar dapat diketahui lebih detail efisiensi dari pembangunan OWC ini
4. Studi kasus dilakukan di daerah lain yang memungkinkan untuk diinstal OWC.

DAFTAR PUSTAKA

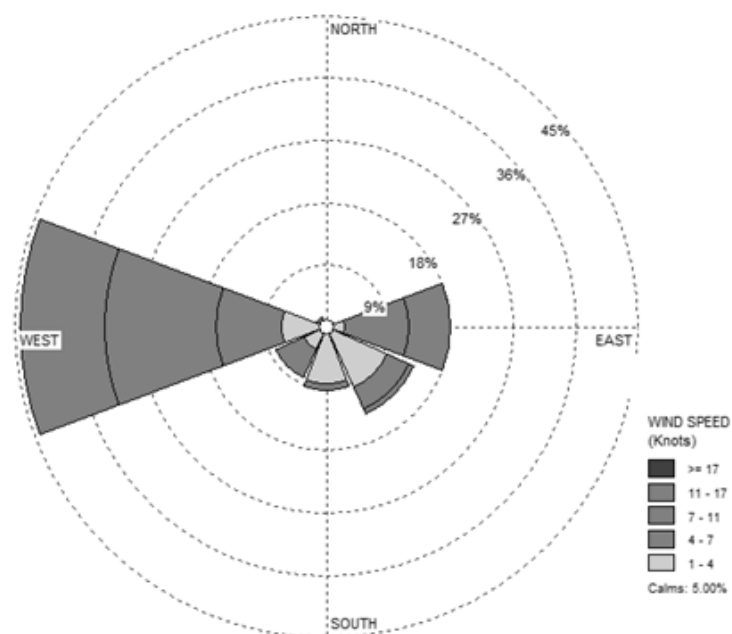
- Arief dan Zamrisyaf . 2010. “Analysis of Barge Models To Capture The Energy From Ocean Waves”. *Proceeding International ISCOT-The Royal Institution of Naval Architects (RINA)*. Surabaya.
- CERC. 1984. *Shore Protection Manual Volume I*. US Army Coastal Engineering Research Center, Washington.
- Constan, J. 1979. *Marine Sources of Energy*. Pergamon Press. New York.
- Ebo. *PLTGL – Pantai Selatan Jawa Mampu Hasilkan Energi Listrik 6.500 Mega Watt*. (<http://www.gaptekupdate.com/2011/04/pltgl-pantai-selatan-jawamampu-hasilkan-energi-listrik-6-500-mega-watt/>, diakses 16 Februari 2013 jam 21:17).
- EPRI. 2009. “Wave Energy Forecasting Accuracy as a function of Forecast Time Horizon”. *EPRI-WP-013*. October 2009.
- Falcao . Antonio, F. “Renewable and Sustainable Energy Reviews”. *IDMEC Instituto Superior Tecnico. Technical University of Lisbon*. Portugal : 1049-001
- Graw, K.U. 1996. *Wave Energy-A Device Comparison*, University of Leipzig.
- Hadian, M. 2014. *Studi Pemilihan Lokasi Penempatan Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) di Pesisir Pulau Bawean – Gresik*. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember . Surabaya.
- Hariffudin. 2007. “Estimasi Kebutuhan Daya Listrik Sulawesi Selatan Sampai tahun 2017”. *Jurnal Media Elektrik* (Desember) . Vol.2 No.2
- Iglesias,G., Dkk. 2010. *Wave Energy Converter*. Lugo Spain. University of Santiago.
- Kusworo, A.2012. *Analisa Power Linier Generator PLTGL untuk Memenuhi Kebutuhan Daya Listrik di Daerah Sekitar Selat Bali*. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Masuda. 1971. *Wave –activated Generator*. International Colloq Exposition Oceans.Bordeaux.Perancis.Vt.1,T2-05.

- McCormick, M.E., 1981, *Wave Energy Conversion*, Boston : John Wiley & Sons Inc.
- Pusdatin. 2010. *Buku Pegangan Statistik Ekonomi Energi Indonesia*. DESDM 2010.
- Puspita, R. R. 2010. *Studi Perancangan Sistem Konversi Energi Laut Tipe OWC di Pantai Pengambengan*. Tugas Akhir . Jurusan Teknik Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember . Surabaya.
- Toyota, K., Nagata, S., Imai, Y., and Setoguchi, T. 2009. *Research for evaluating performance of OWC-type Wave Energy Converter “Backward Bent Duct Buoy”*. Institute of Ocean Energy . Saga University.
- Triatmodjo, B. 1999. *Teknik Pantai*. Yogyakarta : Beta Offset.
- UNDP. 2000. “World Energy Assessment : Energy and Chalenge of Sustainability”. *Renewable Energy Technologies*. Chapter 7.
- Waldopo. 2008. *Perairan Darat dan Laut* [pdf]. (http://elcom.umy.ac.id/elschool/muallimin_muhammadiyah/file.php1/materi/Geografi/PERAIRAN%20DARAT%20DAN%20LAUT.pdf , diakses pada tanggal 7 Januari 2013 jam 17:33) .
- Zuhal. 1998. *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*. Gramedia. Jakarta.

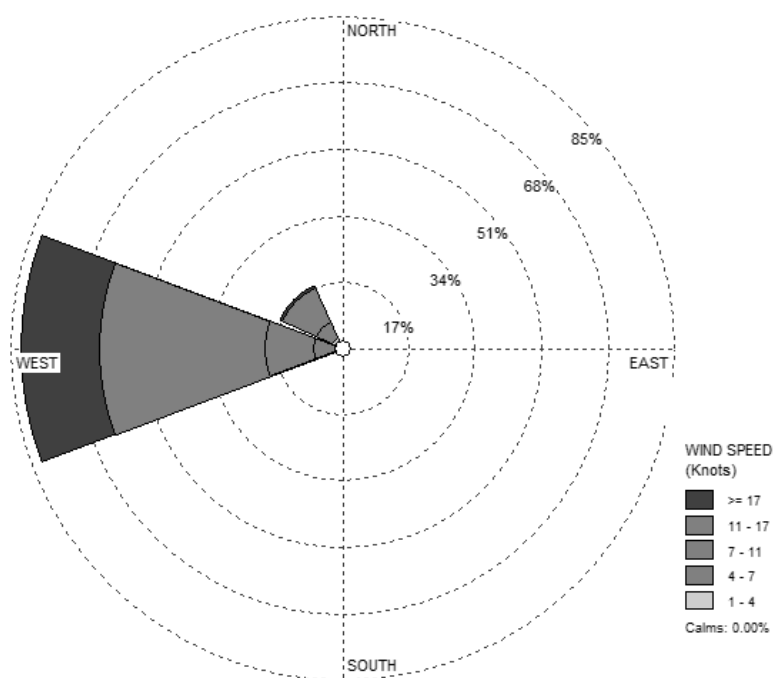
B LAMPIRAN A

Hasil wind rose periode 2008 – 2012 perbulan

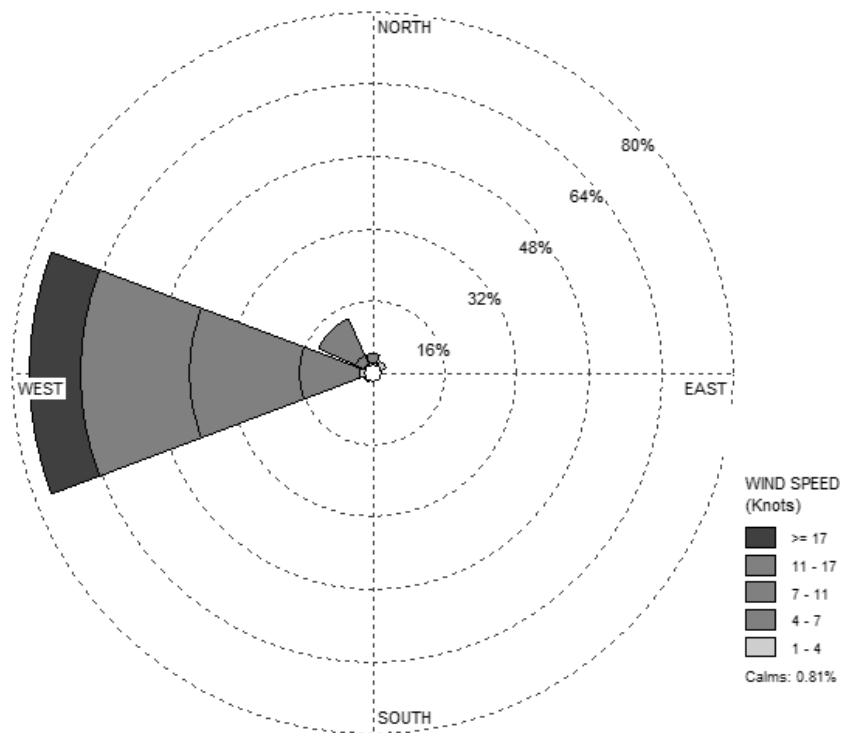
Bulan Januari



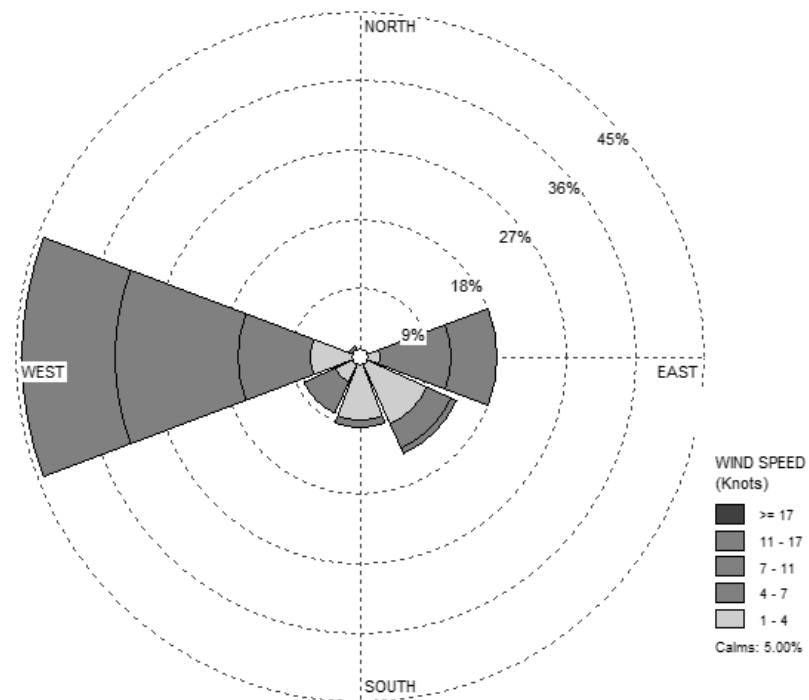
Bulan Februari



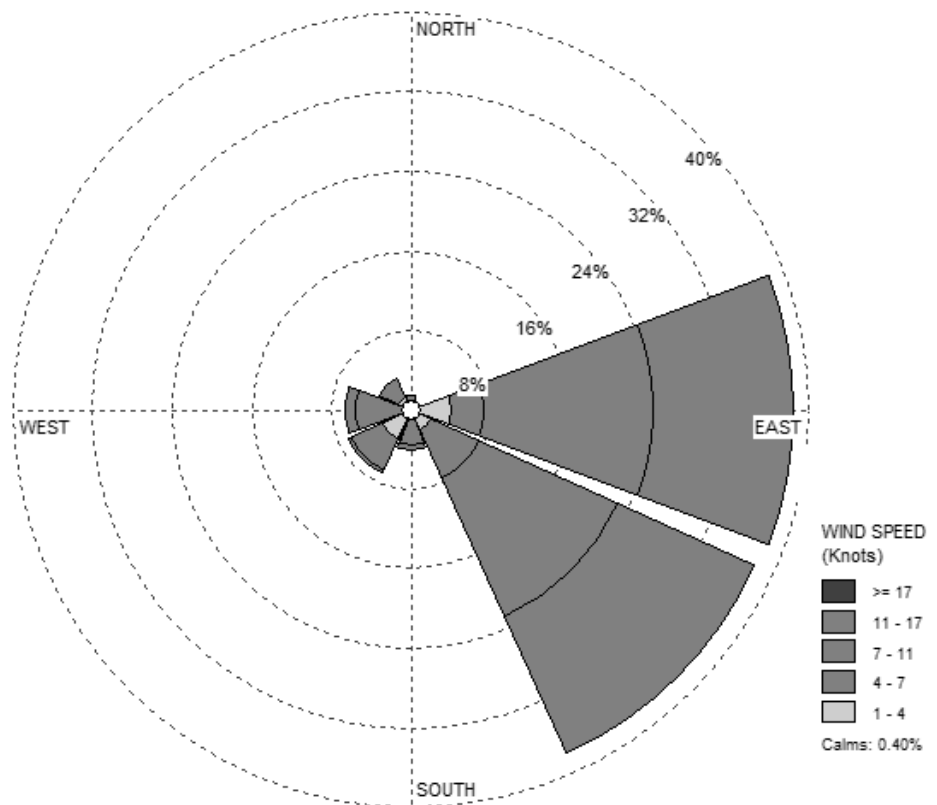
Bulan Maret



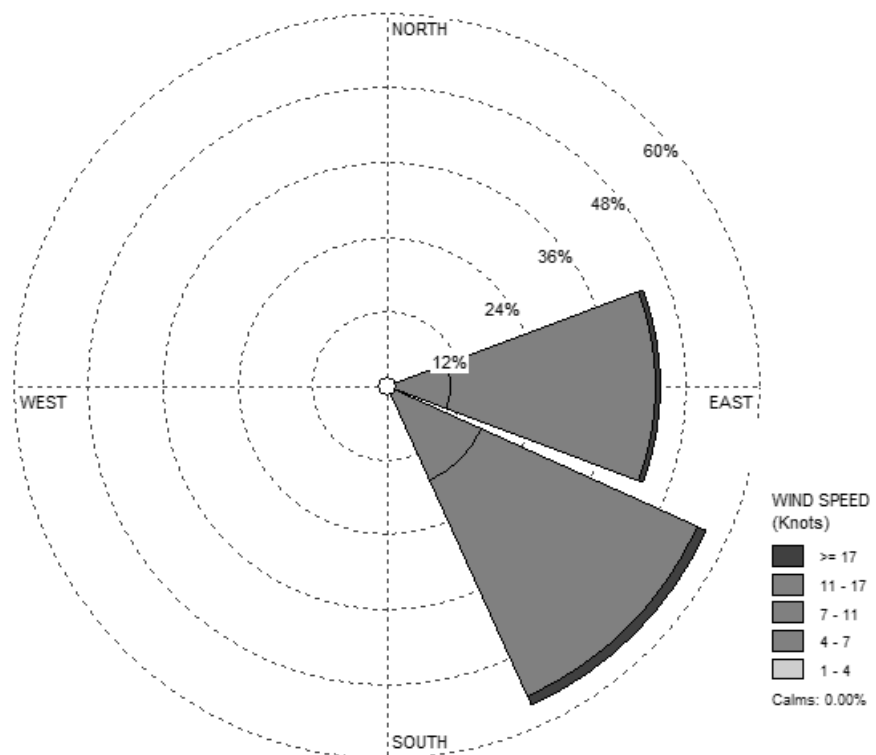
Bulan April



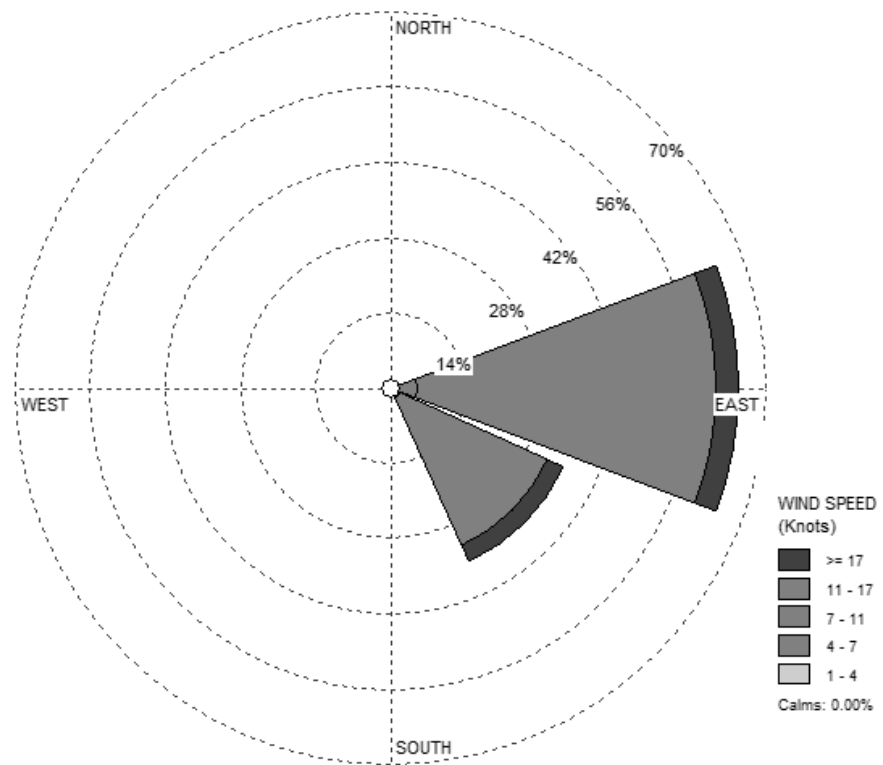
Bulan Mei



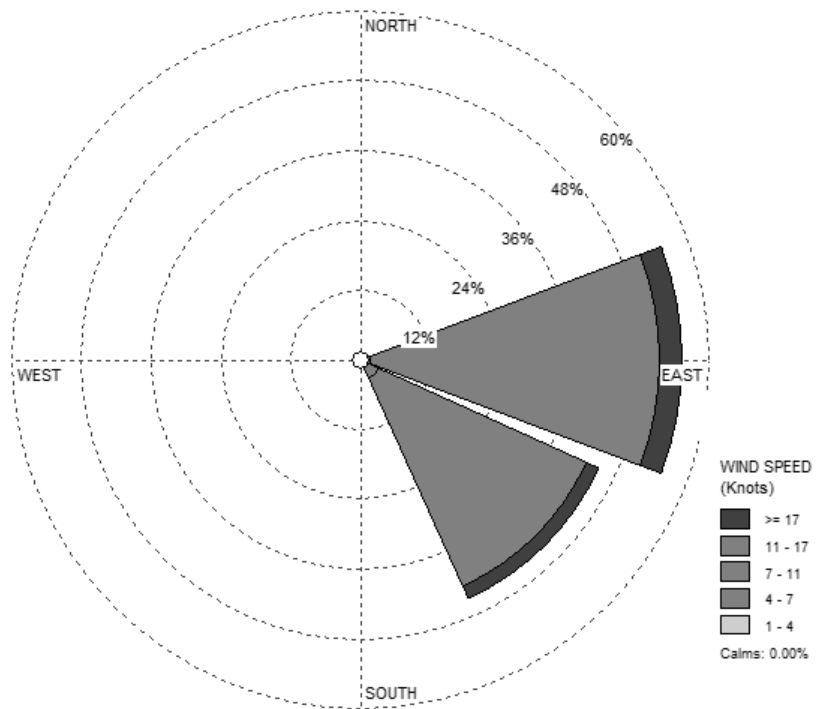
Bulan Juni



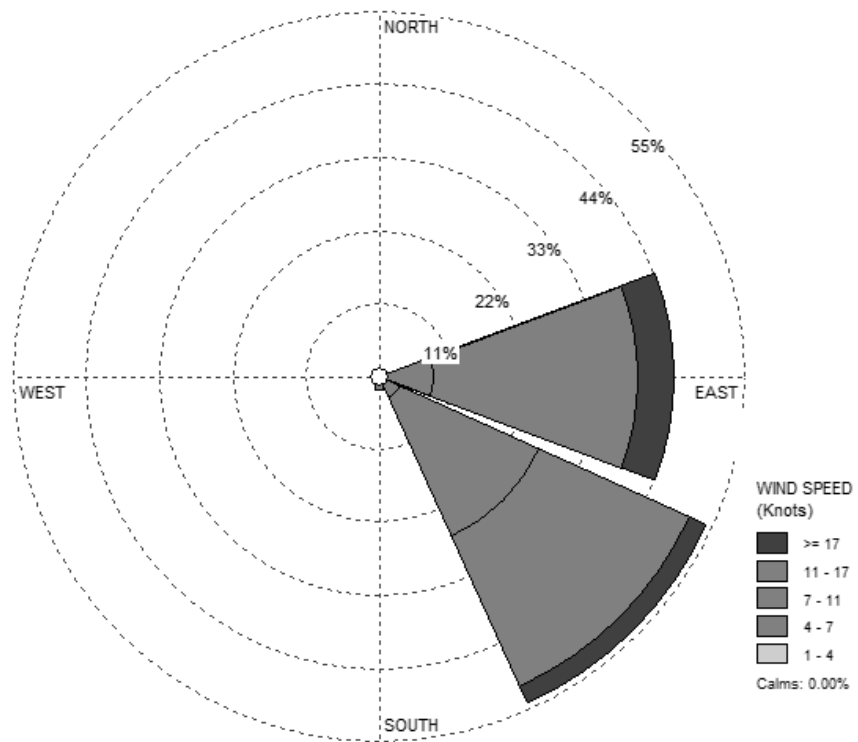
Bulan Juli



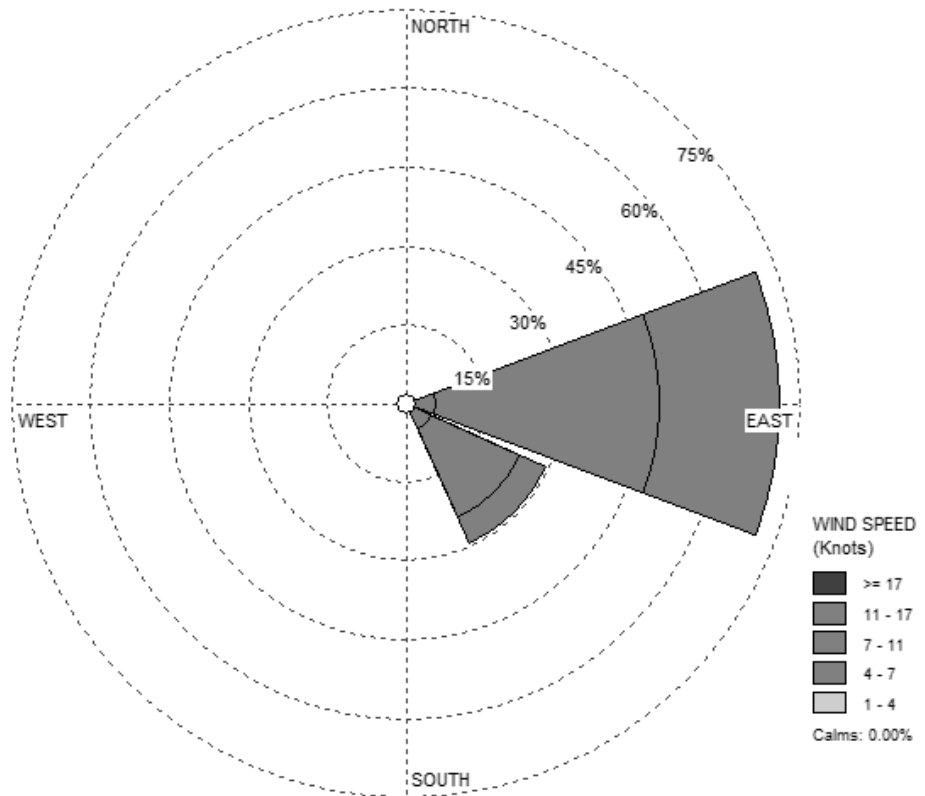
Bulan Agustus



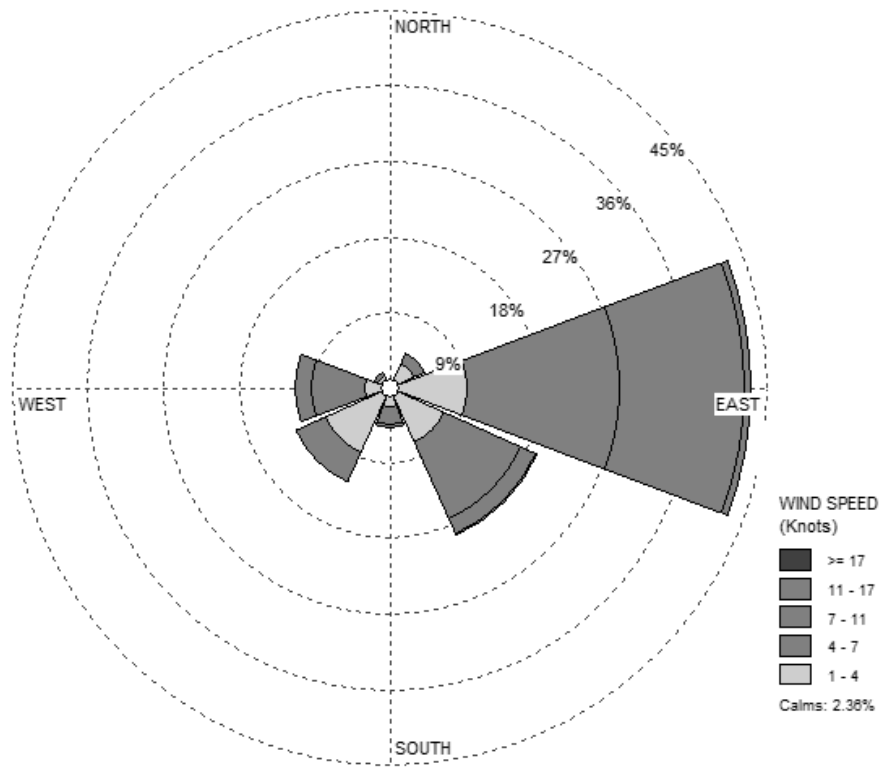
Bulan September



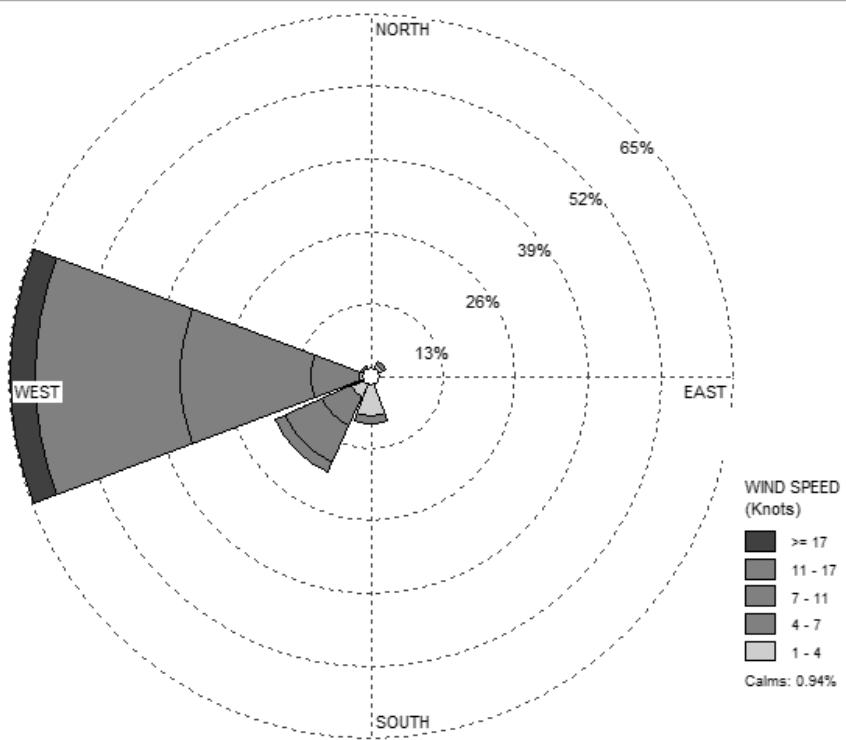
Bulan Oktober



Bulan November



Bulan Desember



LAMPIRAN B

Tabel hasil perhitungan daya owc dari variasi diameter kolom (D_1)

Perencanaan $D_1 = 7\text{m}$

Bulan	D1(m)	D2(m)	Hs(m)	Ts(s)	L(m)	lamda	fc	Wc
Januari	7	0.6	1.23	6.1	2.75	58.82	2.96	18.61
Februari	7	0.6	1.12	5.9	2.75	53.85	2.96	18.61
Maret	7	0.6	0.50	4.6	2.75	32.37	2.96	18.61
April	7	0.6	0.50	5.8	2.75	51.71	2.96	18.61
Mei	7	0.6	0.80	5.8	2.75	52.27	2.96	18.61
Juni	7	0.6	1.08	5.7	2.75	51.41	2.96	18.61
Juli	7	0.6	1.16	5.8	2.75	52.03	2.96	18.61
Agustus	7	0.6	1.22	5.8	2.75	52.78	2.96	18.61
September	7	0.6	0.97	5.7	2.75	50.05	2.96	18.61
Oktober	7	0.6	0.69	5.3	2.75	43.77	2.96	18.61
November	7	0.6	0.39	5.4	2.75	45.16	2.96	18.61
Desember	7	0.6	0.77	5.8	2.75	52.47	2.96	18.61

V1	A1	A2	V2	Q1	Q2	potensial	tekanan	Daya (watt)
2.69	38.47	0.28	365.78	103.37	103.37	1.61	170.47	142543.35
2.45	38.47	0.28	333.28	94.18	94.18	1.33	169.90	118361.89
1.10	38.47	0.28	149.44	42.23	42.23	0.27	166.65	23930.15
1.08	38.47	0.28	147.48	41.68	41.68	0.26	166.62	23311.43
1.74	38.47	0.28	237.40	67.09	67.09	0.68	168.20	60138.70
2.36	38.47	0.28	321.46	90.84	90.84	1.24	169.69	110127.44
2.54	38.47	0.28	345.98	97.78	97.78	1.44	170.12	127548.42
2.66	38.47	0.28	361.98	102.30	102.30	1.57	170.40	139600.44
2.11	38.47	0.28	287.76	81.32	81.32	0.99	169.09	88284.35
1.50	38.47	0.28	203.91	57.62	57.62	0.50	167.61	44411.40
0.86	38.47	0.28	116.40	32.89	32.89	0.16	166.07	14582.91
1.68	38.47	0.28	228.39	64.54	64.54	0.63	168.05	55673.15

Perencanaan $D_1 = 8\text{m}$

Bulan	D1(m)	D2(m)	Hs(m)	Ts(s)	L(m)	lamda	fc	Wc
Januari	8	0.6	1.23	6.14	2.75	58.82	2.96	18.61
Februari	8	0.6	1.12	5.88	2.75	53.85	2.96	18.61
Maret	8	0.6	0.50	4.56	2.75	32.37	2.96	18.61
April	8	0.6	0.50	5.76	2.75	51.71	2.96	18.61
Mei	8	0.6	0.80	5.79	2.75	52.27	2.96	18.61
Juni	8	0.6	1.08	5.74	2.75	51.41	2.96	18.61
Juli	8	0.6	1.16	5.78	2.75	52.03	2.96	18.61
Agustus	8	0.6	1.22	5.82	2.75	52.78	2.96	18.61
September	8	0.6	0.97	5.66	2.75	50.05	2.96	18.61
Oktober	8	0.6	0.69	5.30	2.75	43.77	2.96	18.61
November	8	0.6	0.39	5.38	2.75	45.16	2.96	18.61
Desember	8	0.6	0.77	5.80	2.75	52.47	2.96	18.61

V1	A1	A2	V2	Q1	Q2	potensial	tekanan	Daya (watt)
2.69	50.24	0.43	317.11	135.01	135.01	1.61	147.43	186103.02
2.45	50.24	0.43	288.93	123.02	123.02	1.33	146.96	154519.42
1.10	50.24	0.43	129.55	55.16	55.16	0.27	144.33	31182.03
1.08	50.24	0.43	127.86	54.44	54.44	0.26	144.30	30373.93
1.74	50.24	0.43	205.81	87.63	87.63	0.68	145.59	78473.87
2.36	50.24	0.43	278.68	118.65	118.65	1.24	146.80	143764.37
2.54	50.24	0.43	299.95	127.71	127.71	1.44	147.15	166518.02
2.66	50.24	0.43	313.82	133.61	133.61	1.57	147.38	182259.27
2.11	50.24	0.43	249.47	106.22	106.22	0.99	146.31	115234.98
1.50	50.24	0.43	176.78	75.26	75.26	0.50	145.11	57932.46
0.86	50.24	0.43	100.91	42.96	42.96	0.16	143.86	18973.75
1.68	50.24	0.43	198.00	84.30	84.30	0.63	145.46	72641.41

Perencanaan $D_1 = 9\text{m}$

Bulan	D1 (m)	D2(m)	Hs (m)	Ts (s)	L (m)	lamda	fc	Wc
Januari	9	0.6	1.23	6.14	2.75	58.82	2.96	18.61
Februari	9	0.6	1.12	5.88	2.75	53.85	2.96	18.61
Maret	9	0.6	0.50	4.56	2.75	32.37	2.96	18.61
April	9	0.6	0.50	5.76	2.75	51.71	2.96	18.61
Mei	9	0.6	0.80	5.79	2.75	52.27	2.96	18.61
Juni	9	0.6	1.08	5.74	2.75	51.41	2.96	18.61
Juli	9	0.6	1.16	5.78	2.75	52.03	2.96	18.61
Agustus	9	0.6	1.22	5.82	2.75	52.78	2.96	18.61
September	9	0.6	0.97	5.66	2.75	50.05	2.96	18.61
Oktober	9	0.6	0.69	5.30	2.75	43.77	2.96	18.61
November	9	0.6	0.39	5.38	2.75	45.16	2.96	18.61
Desember	9	0.6	0.77	5.80	2.75	52.47	2.96	18.61

V1	A1	A2	V2	Q1	Q2	potensial	tekanan	Daya (watt)
2.69	63.59	0.54	317.11	170.88	170.88	1.61	147.43	235494.08
2.45	63.59	0.54	288.93	155.69	155.69	1.33	146.96	195521.51
1.10	63.59	0.54	129.55	69.81	69.81	0.27	144.33	39425.03
1.08	63.59	0.54	127.86	68.90	68.90	0.26	144.30	38402.30
1.74	63.59	0.54	205.81	110.90	110.90	0.68	145.59	99277.61
2.36	63.59	0.54	278.68	150.17	150.17	1.24	146.80	181909.79
2.54	63.59	0.54	299.95	161.63	161.63	1.44	147.15	210707.07
2.66	63.59	0.54	313.82	169.10	169.10	1.57	147.38	230629.37
2.11	63.59	0.54	249.47	134.43	134.43	0.99	146.31	145802.74
1.50	63.59	0.54	176.78	95.26	95.26	0.50	145.11	73280.32
0.86	63.59	0.54	100.91	54.37	54.37	0.16	143.86	23974.36
1.68	63.59	0.54	198.00	106.69	106.69	0.63	145.46	91896.02

LAMPIRAN C

Perhitungan *cash flow* dari masing – masing variasi diameter kolom

Cash flow instalasi empat OWC dengan $D_1 = 7\text{m}$

[illegible]

Cash flow instalasi tiga OWC dengan $D_1 = 8\text{m}$

Uraian	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Juta Rupiah														
Saldo		-6856	-5793	-4730	-3667	-2604	-1541	-478	585	1648	2711	3774	4837	5900	6963
investasi	6856														
pendapatan		3230	3230	3230	3230	3230	3230	3230	3230	3230	3230	3230	3230	3230	3230
biaya :															
Cicilan Pembangunan		-1028	-1028	-1028	-1028	-1028	-1028	-1028	-1028	-1028	-1028	-1028	-1028	-1028	-1028
Biaya Pemeliharaan (20%)		-205	-205	-205	-205	-205	-205	-205	-205	-205	-205	-205	-205	-205	-205
Tenaga Kerja		-468	-468	-468	-468	-468	-468	-468	-468	-468	-468	-468	-468	-468	-468
Operasional		-65	-65	-65	-65	-65	-65	-65	-65	-65	-65	-65	-65	-65	-65
Pajak (20%)		-401	-401	-401	-401	-401	-401	-401	-401	-401	-401	-401	-401	-401	-401
Arus Kas Bersih	-6856	-5793	-4730	-3667	-2604	-1541	-478	585	1648	2711	3774	4837	5900	6963	8026

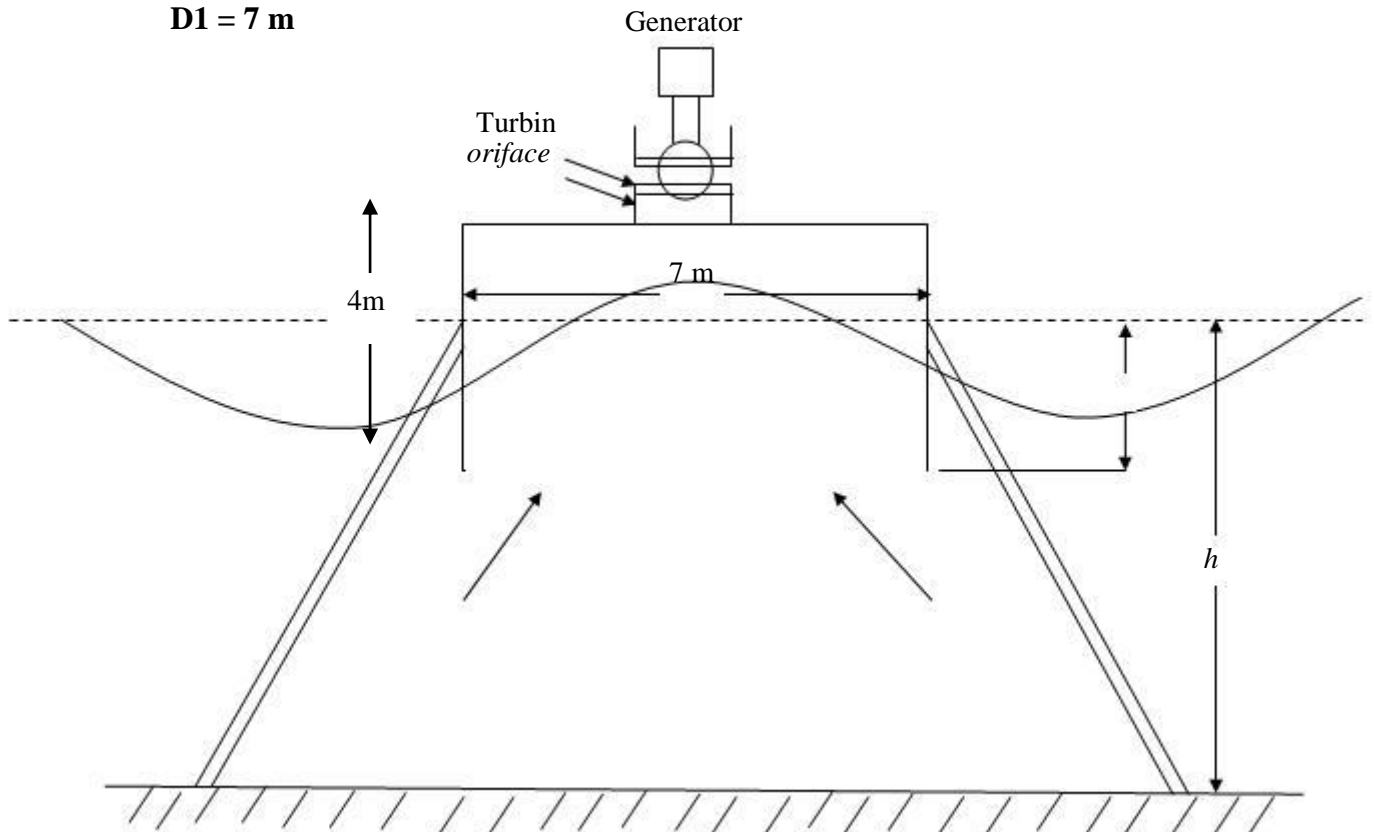
Cash flow instalasi dua OWC dengan $D_1 = 9m$

No	Uraian	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
		Juta Rupiah														
1	Saldo		-5811	-4675	-3539	-2403	-1267	-131	1005	2141	3277	4413	5549	6685	7821	8957
2	investasi	5811														
3	pendapatan		3230	3230	3230	3230	3230	3230	3230	3230	3230	3230	3230	3230	3230	3230
4	biaya :															
	Cicilan Pembangunan		-871	-871	-871	-871	-871	-871	-871	-871	-871	-871	-871	-871	-871	-871
	Biaya Pemeliharaan (20%)		-174	-174	-174	-174	-174	-174	-174	-174	-174	-174	-174	-174	-174	-174
	Tenaga Kerja		-468	-468	-468	-468	-468	-468	-468	-468	-468	-468	-468	-468	-468	-468
	Operasional		-65	-65	-65	-65	-65	-65	-65	-65	-65	-65	-65	-65	-65	-65
5	Pajak (20%)		-516	-516	-516	-516	-516	-516	-516	-516	-516	-516	-516	-516	-516	-516
6	Arus Kas Bersih	-5811	-4675	-3539	-2403	-1267	-131	1005	2141	3277	4413	5549	6685	7821	8957	10093

LAMPIRAN D

Sketsa OWC *open entrance*

D1 = 7 m



Untuk perhitungan berat struktur dengan menggunakan rumus :

$$m = \rho \times V$$

Dimana :

m = Massa struktur (kg)

ρ_{baja} = Massa jenis baja (kg/m^3)

V = Volume (m^3)

Diketahui :

$$\text{Diameter} = 7 \text{ m}$$

$$\text{tebal pelat baja} = 30 \text{ mm} = 0.03 \text{ m (udsamudrajaya1.indonetwork.co.id)}$$

$$\text{tinggi struktur} = 4 \text{ m}$$

$$\rho_{\text{baja}} = 7.850 \text{ kg/m}^3$$

Langkah pertama adalah menghitung volume, dimana struktur tersebut berbentuk silinder. Untuk menghitung volume menggunakan perhitungan luasan selimut silinder dikalikan dengan tebal pelat baja yang digunakan.

$$\begin{aligned} L_{\text{selimut}} &= 2\pi r t \\ &= 2 \times 3,14 \times 3,5 \times 4 \\ &= 87,92 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Setelah perhitungan luas selimut silinder, selanjutnya menghitung volume struktur dimana dari luasan selimut dikalikan dengan tebal pelat .

$$\begin{aligned} V &= 87,92 \times 0,03 \\ &= 2,64 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Maka masa struktur sebesar:

$$\begin{aligned} m &= V \times \rho \\ &= 2,64 \times 7850 \\ &= 20724 \text{ kg} = 20,74 \text{ ton} \end{aligned}$$

Perhitungan tersebut juga dihitung untuk struktur pada variasi D1 7 m dan 8 m. Dimana untuk D1 8 m memiliki masa struktur sebesar 24,72 ton dan D1 9 m memiliki masa struktur sebesar 27,48 ton.

BIODATA PENULIS



Astrid Karina W lahir di Surabaya, 26 Juni 1991 dan merupakan puteri pertama dari tiga bersaudara. Penulis tinggal di Gresik tepatnya di Desa Randuagung, Kecamatan Kebomas. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu TK Widyatama I Surabaya (1995 – 1997), SDN Randuagung II Gresik (1997 – 2003), SMPN 1 Gresik (2003 – 2006) dan SMAN 1 Gresik (2006 – 2009). Setelah lulus SMA, penulis melanjutkan pendidikan di ITS jurusan Teknik Kelautan melalui program PMDK – Regular. Penulis pernah mengikuti berbagai kegiatan baik sebagai peserta maupun panitia. Diantaranya : *ESQ Leadership Training*, LKMM Pra – TD, workshop “*5th International Workshop Recent LNG Technology and ITS Application*”, kuliah tamu “*A Short About Offshore Pipeline Installation Engineering*”, dan lain-lain. Semua kegiatan yang diikuti semata untuk menambah pengetahuan dan mengembangkan *softkill*. Dalam Tugas Akhir ini penulis mengambil bidang konversi energy dengan judul Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang (PLTGL) di Pulau Bawean Gresik. Penulis dapat dihubungi di *e-mail* astridkarina77@gmail.com.